

Approved For Release 2009/07/21 : CIA-RDP80T00246A011300520001-8

25X1

Page Denied

Approved For Release 2009/07/21 : CIA-RDP80T00246A011300520001-8

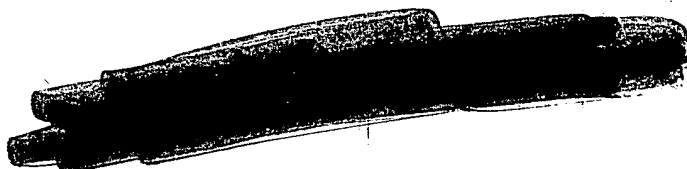
FOR OFFICIAL USE ONLY

Академия медицинских наук СССР
ИНСТИТУТ ПСИХИАТРИИ

БРАЙНЕС С. Н., НАПАДКОВ А. В., СВЕЧИНСКИЙ В. Б.

"Problems in Neuro-Cybernetics"

УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ
(ПРОБЛЕМЫ НЕЙРОКИБЕРНЕТИКИ)



Москва — 1959

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

АННОТАЦИЯ

• Книга посвящена вопросам кибернетики. Рассматриваются закономерности переработки информации и управления в живых организмах. Приводится изложение экспериментальных исследований, которые выявили алгоритмы, лежащие в основе работы головного мозга как весьма совершенной самоорганизующейся системы.

Для изучения проблем нейрокибернетики был использован метод моделирования.

Книга рассчитана на научных работников в области физиологии, патофизиологии, медицины, технической кибернетики и смежных областей. Она может представлять интерес для широкого круга читателей интересующихся кибернетикой.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

ВВЕДЕНИЕ

Кибернетика имеет дело с изучением систем двух основных категорий: радиоэлектронных, созданных человеком (кибернетические машины) и систем, существующих в природе и возникших в процессе эволюционного развития органического мира (живые организмы).

В обеих этих категориях систем можно выявить некоторый определенный общий круг закономерностей и явлений, связанных с процессами переработки информации и управления и являющихся результатом функционирования сложных систем, состоящих из большого числа особым образом связанных друг с другом и влияющих друг на друга элементов.

Наличие этих общих закономерностей конечно не означает возможности сведения закономерностей работы головного мозга к закономерностям работы машины.

Подход к изучению обеих перечисленных категорий систем должен быть различным в силу их природы.

При изучении кибернетических машин человек имеет дело с творениями собственных рук, он получает в связи с этим широкие возможности для аналитического изучения закономерностей работы этих систем. Экспериментатор может разделять эти системы на отдельные составляющие их узлы и изучать эти узлы в отдельности друг от друга. Он может изучать работу отдельных элементов, входящих в эти кибернетические системы.

Исследование систем живых организмов не допускает применения этих методов исследования. Вместе с тем в живых организмах функционируют такие сложные системы и проявляются такие сложные принципы и механизмы, которые до сих пор еще не могут быть моделированы в машинах.

Изучение этих явлений представляет большой интерес для кибернетики.

В связи с этим возникает специфика исследования живых организмов и, в частности, исследования головного мозга. Эти исследования включают две тесно связанные друг с другом проблемы.

а) При исследовании головного мозга могут быть выявлены важные теоретические закономерности работы сложной системы управления, которые могут иметь большое значение

3.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

для развития теоретической кибернетики. Закономерности и явления, вскрытые в изучении работы головного мозга, могут быть использованы при создании новых кибернетических машин.

б) Вторая проблема связана с использованием достижений кибернетики для изучения физиологических процессов, лежащих в основе работы головного мозга. Изучение общих закономерностей и принципов функционирования систем, проводившееся на основе создания и исследования радиоэлектронных моделей (кибернетических машин), может иметь значение для изучения ряда актуальных проблем физиологии. Отсюда открываются новые возможности для изучения сложных форм переработки информации в различных отделах нервной системы, что, разумеется, представляет большой интерес для решения ряда актуальных задач биологии и медицины.

Таким образом определяется специфический круг вопросов, связанных с изучением головного мозга. Как по характеру стоящих в этой области проблем, так и по специфике применяемых методов исследования, он в значительной степени отличается и от технической кибернетики и от проблем, проводящихся в настоящее время физиологических исследований. Поэтому получает свое обоснование выделение нейрокибернетики, как специфической области исследований.

В настоящее время уже не вызывает возражений, что кибернетика может принести большую пользу физиологии. Однако конкретные формы взаимоотношения кибернетики и физиологии во многом остаются неясными.

Настоящая книга не претендует на решение этого актуального и сложного вопроса, однако, она ставит своей целью показать некоторые из таких возможностей на примере изучения ряда проблем, возникающих при изучении головного мозга.

Предлагаемый вниманию читателей труд не является сводной работой в области нейрокибернетики и не претендует на исчерпывающее изложение существа проблем, выдвинутых этой наукой. Он представляет собой только попытку наметить пути к решению некоторых из возникающих в этом направлении вопросов.

Проблема, которой посвящено данное исследование, является новой. В связи с этим естественно многие вопросы ставятся в книге в дискуссионном порядке в надежде на то, что дальнейшее обсуждение приведет к уточнению или даже к существенному изменению, выдвигаемых нами положений.

Считаем своим приятным долгом выразить глубокую благодарность академику А. И. Бергу, проф. Э. Я. Кольману и проф. В. С. Новикову за ряд ценных советов, которые были использованы при написании книги.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

ГЛАВА I

КИБЕРНЕТИКА И ФИЗИОЛОГИЯ

а) Предмет исследования

Н. Винер (23) определил кибернетику, как науку о процессах управления и связи в живых организмах и машинах.

В настоящее время намечается некоторая тенденция к расширению содержания понятия «кибернетика», данного Винером. В частности, подчеркивается (52, 59), что кибернетика связана с изучением закономерностей переработки информации в различных системах. А. А. Ляпунов (40) в своей теоретической статье указывает на то, что основным вопросом, в связи с которым формируется кибернетика, является вопрос о взаимоотношениях возможностей вычислительных машин и мышления, а основным методом является метод алгоритмического описания функционирования управляющих систем. У. Росс Эшби (60) утверждает, что фактически кибернетику можно определить, как исследование сложных систем. Он считает, что трудности, стоящие на пути изучения целого ряда научных проблем в области физиологии, к которым он в частности относит и изучение физиологии головного мозга, связаны с тем, что исследователь сталкивается с существованием и функционированием очень сложных систем. Применяемые до последнего времени методы исследования этих систем не позволяли дать полный анализ их работы.

Согласно мнению Эшби (60) в течение двух последних столетий наука исследовала сложнейшие системы взаимно связанных между собой явлений, существующих в природе, по принципу «изменяйте факторы по одному».

При помощи специальных экспериментальных методик сложнейшие системы явлений искусственно расчленялись на их составные части, на более простые элементарные процессы, которые исследовались по отдельности независимо друг от друга. Известно, например, что для исследования сложнейших систем химических процессов, разыгрывающихся в организме, оказывается необходимым тем или иным способом вы-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

членять отдельные химические реакции из общей системы. Эти реакции затем изучаются отдельно друг от друга в условиях точного эксперимента в пробирках. После этого все экспериментальные данные, полученные в различных экспериментах и различными исследователями, суммируются друг с другом, на основании чего составляется общая картина химического процесса, разыгрывающегося в организме.

Эшби считает, что этот метод оправдывает себя только при изучении простых систем явлений. При изучении же сложных систем он оказывается неприемлемым.

В сложных системах возникают такие новые явления и закономерности, которые невозможно изучить путем анализа отдельных простейших составляющих их частей (компонентов). Это положение, которое непосредственно связано с одним из основных положений диалектического материализма (переход количества в качество) может быть иллюстрировано на примере работы счетно-вычислительных машин. Ни один из элементов, из которых состоит машина, не обладает теми замечательными свойствами, которыми обладает вся система в целом (способностью производить сложные вычисления, переводить с одного языка на другой, играть в шахматы и т. д.). Все эти свойства оказываются присущими только сложной системе особым образом взаимосвязанных между собой элементов (кибернетической машине), как единому целому. Такие же отношения выявляются и при изучении физиологических процессов, например при изучении работы головного мозга. Головной мозг представляет собой сложнейшую систему взаимно связанных между собой нервных элементов. Отдельные нервные клетки обладают относительно простыми свойствами. Они могут находиться либо в состоянии возбуждения, либо в состоянии торможения. Они могут либо пропустить через себя волну возбуждения, либо не пропустить. Те замечательные свойства, которыми обладает головной мозг (мышление, фантазия, память и т. д.), возникают только в сложнейших системах, особым образом взаимосвязанных между собой элементов. Таким образом, изучение отдельных нервных элементов или отдельных групп нервных элементов, каким бы точным методом оно ни производилось, не может привести нас к пониманию основных принципов работы головного мозга и тех основных способностей, которыми он обладает. Эти явления и способности возникают только в сложных системах взаимно связанных между собой элементов.

Изучение принципов функционирования сложных систем, изучение тех новых процессов и явлений, которые возникают в этих системах, являются таким образом одной из важнейших проблем физиологии в наше время.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

В решении этой проблемы, которая, конечно, не является неразрешимой проблемой и в изучении которой решающее значение приобретает разработка новых методов исследований, по мнению Эшби, выдающееся значение может иметь кибернетика.

Эшби пишет: «Кибернетика отвергает смутно интуитивные идеи и приступает к созданию строгой науки о процессах и явлениях, возникающих в системах». В другом месте он пишет: «Кибернетика дает нам надежду на создание эффективных методов для изучения систем чрезвычайной внутренней сложности и управления ими».

Важнейшей особенностью кибернетики, которая позволяет ей подойти к изучению этой проблемы, является то, что она дает единый комплекс понятий и единый круг идей для изучения систем функционирующих в кибернетических машинах и живых организмах.

Для объяснения этой важной особенности кибернетики можно воспользоваться применяемым Эшби (59) приемом сравнения кибернетики с другими науками и, в частности, с геометрией.

Известно, что геометрия является наукой, которая рассматривает закономерности, присущие весьма различным между собой явлениям и предметам, находящимся в пространстве. При этом важно подчеркнуть, что законы геометрии, открытые при помощи абстрактного мышления, могут быть затем с успехом применены и при строительстве мостов, и при постройке новых зданий, и при планировании земельных участков, а также и при анализе некоторых физиологических проблем. В основе этого явления, как это подчеркивает Э. Кольман (34), лежит единство законов природы, наличие в природе общих закономерностей в разных явлениях. Для решения определенного круга вопросов оказывается неважным, из какого вещества состоит тот или иной предмет (бумаги, бетона, земли, железа и т. д.). Важно, что данный объект имеет ту или иную форму (квадрат, прямоугольник и т. д.).

Таким образом, открывается возможность для сравнения различных между собой объектов и перенесения закономерностей, вскрытых при изучении одного объекта на другой.

Изучение основных законов геометрии было бы практически крайне затруднительным, если бы эти законы изучались непосредственно на строительстве мостов или при планировании земельных участков. Решающее значение имел тот факт, что законы геометрии могли изучаться в отрыве от тех объектов, где они находили непосредственное практическое использование. Известный круг общих вопросов и общих закономерностей проявляется при изучении сложных систем, функционирующих в различных по своим физическим качествам объек-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

тах, например в электронно-вычислительных машинах и в различных физиологических системах.

При изучении функционирования сложных систем, состоящих из большого количества особым образом взаимосвязанных между собой и взаимовлияющих друг на друга простых элементов, выявляется специфический круг закономерностей. Для изучения этих закономерностей оказывается неважным, из какого физического материала состоят те элементы, которые входят в данную систему (белковые вещества, металл и т. д.). Важным является то, какое влияние одни элементы оказывают на другие, как они взаимодействуют друг с другом, в какую структурную схему соединяются эти элементы.

Именно в связи с наличием этого общего круга закономерностей и оказывается возможным перенесение принципов и явлений, вскрытых при изучении одной системы, например при изучении электронных машин, на другую, например на исследование закономерности работы головного мозга. При изучении процессов, разыгрывающихся в различных кибернетических системах, многие важные вопросы могут быть решены путем изучения радиоэлектронных систем. Эти системы представляют значительное удобство для изучения целого ряда явлений. В связи с возможностью использования этого приема открываются большие новые перспективы для изучения ряда теоретических вопросов, связанных с функционированием сложных систем процессов, что может иметь решающее значение для анализа работы головного мозга.

Рассмотренные принципы определяют границы, в которых оказывается возможным сопоставление работы различных систем друг с другом и, в частности, сопоставление работы кибернетических машин и работы головного мозга. Общим в работе кибернетических машин и головного мозга является круг закономерностей, связанный с функционированием систем взаимно связанных друг с другом элементов, в которых разыгрываются сложные процессы управления и сложные процессы переработки информации.

Вместе с тем, если рассматривать головной мозг с точки зрения изучения тех сложных биохимических процессов обмена веществ, которые определяют деятельность нервной системы, с точки зрения закономерностей миграции энергии, то мы не обнаружим сходства между головным мозгом и кибернетической машиной.

Нужно также подчеркнуть, что человек представляет собой продукт социальной деятельности, сознание человека определяется главным образом воспитанием, условиями окружающей его социальной среды, его жизненным опытом. Физиологические процессы определяют только ту материальную

FOR OFFICIAL USE ONLY

100-100000-100000

основу, на базе которой происходит развитие личности человека.

Таким образом общее сопоставление человека и машины возможно только в узких рамках изучения закономерностей, проявляющихся в сложных системах, с той же степенью достоверности, с которой мы говорим о возможности применения общих принципов математического анализа к изучению работы головного мозга.

Однако, говоря об узком общем круге закономерностей, не следует преуменьшать возможностей машины. Так, например, часто встречается утверждение, что программа действий любой машины полностью предопределена ее конструктором и не может изменяться в процессе работы. Следует отметить, что это не совсем верно.

Даже автомат, описанный в конце данной книги, вырабатывает свою программу именно в результате «изучения» окружающих его, хотя бы и ограниченных условий. А ведь этот автомат очень прост и при его построении ставились довольно скромные цели моделирования некоторых процессов обучения животных*.

Человек все глубже познает природу, в том числе и самого себя, и несомненно будут созданы автоматы, которые смогут моделировать многие функции работы головного мозга.

Часто, говоря о кибернетике, подчеркивают важность выявления аналогий в работе кибернетической машины и работе головного мозга. Такая тенденция нам кажется неоправданной. Слово «аналогия», как нам кажется, не определяет точно ту систему взаимоотношений, которая существует при изучении этих двух весьма различных между собою объектов. При такой постановке вопроса неизбежно возникает вопрос о правомерности сравнения головного мозга и машины.

Этому вопросу был посвящен целый ряд специальных исследований (35, 25, 4). Нам кажется значительно более верным с методологической точки зрения говорить о наличии некоего узкого круга общих закономерностей, которые существуют в работе головного мозга и машины, а именно, закономерностей, связанных с функционированием сложных систем.

Хорошо известно, что основные законы преломления света оказываются в равной степени применимыми как при изучении глаза, так и при изучении и конструировании различных оптических приборов.

Эти законы являются общими для этих двух, весьма различных между собой явлений. Сравнение глаза и оптической системы по другим свойствам и принципам работы оказалось бы явно ошибочным. Такие же отношения существуют и при изучении головного мозга и машин.

* См. стр. 29.

FOR OFFICIAL USE ONLY

б) Методы исследования

Объекты изучения кибернетики очень разнообразны. Проблемы переработки информации, управления и связи оказываются общими для многих систем, живых и неживых, и это, естественно, делает кибернетику наукой, тесно связанной с рядом других наук, таких как физиология и математика, нейрофизиология и радиоэлектроника.

Нас интересует один из разделов кибернетики - нейрокибернетика. Под этим названием мы понимаем изучение процессов управления и связи, переработки информации в живых организмах и автоматах, созданных человеком для моделирования.

Из сказанного ясно, что большое значение придается методам моделирования процессов, происходящих в физиологических системах.

Мы мало знаем о работе головного мозга, о нейрофизиологической структуре его коры. Мозг можно представить, как сложную кибернетическую систему, причем мы не можем посмотреть, как она устроена. Моделируя отдельные функции головного мозга с помощью кибернетических машин, мы можем строить различные гипотезы о его строении.

Изучение кибернетических радиоэлектронных систем и моделей открывает перед исследователями очень широкие возможности для научного анализа явлений, протекающих в сложных системах, в частности, для изучения процессов управления, процессов переработки информации, кодирования информации и т. п. Эти возможности определяются тем, что экспериментатор по своему усмотрению может собирать и разбирать на части различные системы. Можно изучить работу различных узлов машин, создавать различные модели и т. п. Эти приемы исследования позволяют также изучать взаимодействие различных сложных радиоэлектронных систем друг с другом. В связи с этим этот метод и имеет решающее значение в развитии кибернетики. С использованием этого метода связаны те значительные успехи, которые мы имеем в развитии этой науки в последнее время.

Рассматривая попытки моделирования функций головного мозга, можно отметить два основных пути, по которым идет здесь наука. Первый путь — от машины к мозгу. Делаются попытки создать искусственный, синтетический мозг путем умозрительных построений, не рассматривая действительного строения мозга, абстрагируясь от него. Таким путем, как кажется, шел и Эшби, создавая гомеостат и описывая схему «усилителя мыслительных способностей». Этот путь требует большой затраты времени и средств, так как в его основе лежит все-таки метод проб и ошибок, так блестяще реализован-

TOP SECRET USE ONLY

ный У. Росс Эшби в его гомеостате. Однако этот путь дает очень мало знаний о строении мозга.

Другой путь исследования основан на изучении головного мозга физиологическими методами с целью выявления общих закономерностей его функционирования и использования метода моделирования в дальнейшем.

Здесь кибернетика имеет дело со сложными системами, которые функционируют в природе, и которые возникли и сформировались в результате длительного процесса эволюционного развития органического мира. Эти системы (головной мозг человека и животных), работу которых мы можем изучать и описывать в общей форме, обладают рядом таких свойств, которыми не обладают современные кибернетические машины. В них оказываются реализованными принципы и явления, до сих пор еще неизвестные науке. В связи с этим изучение этих систем представляет очень большой интерес. Однако, в данном случае исследователь сталкивается также с большими трудностями при осуществлении экспериментальных исследований.

Те методы, которые оказываются применимыми к изучению радиоэлектронных систем, как правило, не могут быть применены при изучении биологических систем, в частности, не могут быть использованы при изучении работы головного мозга. Возникла проблема, которая в иностранной литературе получила название «черного ящика». Сущность ее заключается в том, что в процессе исследования человек может оказывать определенное воздействие на изучаемую им систему и учитывать те ответы, которыми система отвечает на эти воздействия. В ходе опыта он не может видеть непосредственно те процессы, которые протекают в головном мозгу, и не может установить, каким образом взаимно связаны между собой те нервные клетки, которые участвуют в работе головного мозга.

Физиологическое исследование может привести к выявлению ряда важных особенностей изучаемого явления и к созданию гипотезы о характере физиологических механизмов, лежащих в его основе. Эта гипотеза может быть создана на основании всех имеющихся в нашем распоряжении сведений в области кибернетики и теоретической неврологии.

Дальнейшим этапом исследования должно являться создание соответствующей кибернетической радиоэлектронной модели. Путем создания и изучения этой модели может быть проверена правильность выдвинутой гипотезы, выявлены недостатки и ошибки. В результате этого может быть намечен план проведения новой серии физиологических экспериментов, которые приведут к созданию новой гипотезы или усовершенствованию старой.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE

Этот метод должен включать, таким образом, ряд последовательных фаз, часть из которых связана с экспериментами на животных, а другая с созданием кибернетических моделей.

Создание экспериментальной модели может иметь большое значение для выявления и четкого определения тех задач, которые встают на пути исследования физиологических процессов.

В нашей работе мы постоянно убеждались в том, что в процессе создания кибернетической радиоэлектронной модели того или иного физиологического явления всегда возникает большое количество новых вопросов, которые требуют проведения целого ряда новых физиологических экспериментов.

Таким образом, второй путь, путь от «мозга к машине» представляет, очевидно, больше возможностей для изучения мозга.

в) Роль и место кибернетики в системе физиологических исследований

Трудности изучения физиологических процессов очень часто связаны с тем, что исследователи сталкиваются со сложным взаимодействием большого числа физиологических процессов, которые протекают одновременно и взаимно влияют друг на друга. В качестве примера можно указать на сложнейшие системы физиологических процессов, протекающих в условиях интенсивной мышечной работы организма в пищеварительном тракте после приема пищи и т. д. Основной прием исследования в этом случае связан с тем, что исследователь тем или иным способом старается выделить из сложной системы какой-либо один процесс с целью получения возможности изучить это явление в условиях точного эксперимента. Широко используются методы исследования изолированных органов или частей органов (например, нервно-мышечных препаратов) и т. д.

Отдельные химические реакции изучаются в пробирках. Вслед за этим оказывается необходимым второй этап исследований, когда исследователь пытается объединить все изученные независимо друг от друга процессы в единую целостную систему и представить себе всю целостную сложную картину, возникающую при взаимодействии этих процессов. Этот этап исследований является очень ответственным и трудным, так как в ходе взаимодействия различных (изученных по отдельности) физиологических процессов обычно возникают совершенно новые явления и закономерности, которые трудно предвидеть на основании изучения отдельных органов и реакций.

Различные процессы оказывают влияние друг на друга. Развитие одного процесса может прервать течение другого

FOR OFFICIAL USE

FOR OFFICIAL USE ONLY

или, наоборот, усилить его, причем влияние одного процесса на другой может определяться той фазой, в которой осуществляется это влияние, а следовательно, зависит от изменения незначительных интервалов времени.

Наконец, возникновение нового процесса может направить течение другого на совершенно иной путь.

Поэтому в процессе научного исследования решающее значение приобретают специальные приемы исследований, связанные с созданием определенных схематических построений на бумаге, в которых при помощи тех или иных символов изображается общая картина физиологических процессов. При помощи этого метода оказывается возможным наглядно представить себе целостную картину протекания процессов в организме, сделать ряд важных выводов о результатах их взаимодействия друг с другом и наметить план новых экспериментов.

Однако, методы аналитического исследования не могут полностью решить этой проблемы.

В связи с этим большое значение приобретает метод изучения «целостного организма». В разработке этого метода, как известно, решающее значение имели работы И. П. Павлова и его учеников (54, 2, 5, 19, 20).

Основные принципы этого метода связаны с тем, что в процессе эксперимента исследователь оказывает на организм здорового животного различные комплексы воздействий (вводит различные вещества, дает комплексы сигналов и т. д.). В ходе эксперимента учитываются сложные ответы организма на предъявляемые комплексы воздействий (измеряется уровень кровяного давления, пульс, записываются двигательные рефлекторные реакции, секреция слюны и т. д.). При этом, как правило, исследователь не может вести непосредственного наблюдения за теми физиологическими процессами, которые разыгрываются внутри организма. Остановливаясь подробно на анализе этих методов исследования У. Росс Эшби (60) применяет термин «черный ящик», желая этим подчеркнуть, что в ходе исследования исследователь знает только характер совокупности воздействий, которые оказывают на организм и характер ответов организма, но не может непосредственно следить за протеканием физиологических процессов. Непосредственные выводы о характере физиологических механизмов оказываются на основании этих опытов невозможными. В связи с этим широко используется метод построения рабочих гипотез. Исследователь обычно при помощи карандаша и бумаги создает определенную гипотетическую схему протекания нервных процессов. При построении этой гипотезы он использует всю ту сумму сведений, которая была получена ранее на основе изучения физиологии изолированных органов,

FOR OFFICIAL USE ONLY

и также и все известные ему достижения физики, химии, биологии и других дисциплин. Следует подчеркнуть, что та или иная гипотеза часто не вытекает непосредственно из результатов эксперимента. Она является результатом творческого обобщения всех имеющихся в распоряжении ученого научных сведений, результатом определенного творческого процесса, в котором иногда решающую роль играет использование различных аналогий, сопоставлений. Часто гипотезы появляются в результате случайных «догадок» исследователя.

Рассматривая описываемые выше приемы исследования, следует специально остановиться на этапе исследования, связанном с созданием гипотез. Эта фаза исследования является очень важной, так как от нее зависит направление всего хода дальнейших экспериментов. Одновременно с осуществлением этого этапа связаны часто и большие трудности и именно на этом этапе в наиболее яркой форме сказывается связь физиологии с достижениями других наук. Этот вопрос важен для нас в связи с тем, что именно на этом этапе может проявиться значение и роль кибернетики в общем комплексе физиологических исследований.

Следует подчеркнуть, что создание правильной гипотезы в физиологии, открывающей широкие пути для дальнейших экспериментальных исследований, всегда базируется на достижениях в соответствующих областях других наук. Развитие физиологии всегда находилось в тесной зависимости от достижений физики, химии и успехов технической мысли. Может быть ученые до сих пор спорили бы о значении сужения и расширения зрачка, изменения хрусталика и других особенностей работы глаза, если бы не были известны законы преломления света в линзах. Работа сердца стала понятной в связи с тем, что в технике уже имелись аппараты, которые использовали при работе те же принципы, что и сердце. Открытие явления радиолокации сделало возможным понимание тех механизмов, которые позволяют летучей мыши летать в полной темноте, не натываясь на предметы.

Наряду с этим трудности изучения некоторых физиологических механизмов в значительной степени связаны с тем, что еще не изучены те физические явления, которые лежат в их основе. Такое положение наблюдается и при изучении работы головного мозга.

Отсутствие соответствующих сведений в области физики, химии, техники не дает возможности построить гипотезу, которая бы обеспечила правильное направление физиологических экспериментальных исследований.

Приведенный выше анализ определяет место кибернетики в системе физиологических исследований. Кибернетика не заменяет физиологические исследования. Она создает те теоре-

тические предпосылки, на основе которых могут быть созданы правильные гипотезы и представления о характере физиологических механизмов, а тем самым, как мы уже говорили, она в значительной степени и определяет направление дальнейших физиологических экспериментов, обеспечивая выбор наиболее правильного и перспективного пути исследования. Следует согласиться с мнением Эшби (59) о том, что отсутствие прогресса в изучении целого ряда проблем физиологии зависело от того, что были неизвестны общие принципы и закономерности функционирования сложных систем. Кибернетика создает такую теорию и тем самым создает новые предпосылки для успешного развития ряда разделов физиологии.

Следует подчеркнуть ошибочность представлений о том, что кибернетика может заменить или «сделать ненужными» физиологические методы исследования, а также утверждения, что кибернетика одна без физиологического эксперимента может решить биологические проблемы (в частности проблему изучения головного мозга). Она не устраняет необходимости применения существующих методов физиологического экспериментального исследования, а лишь может сделать эти методы более эффективными.

В заключение этого раздела следует остановиться на некоторых вопросах, связанных с использованием моделирования. В настоящее время еще приходится слышать возражения против использования этого метода в физиологии. Между тем метод моделирования применяется в различных областях науки и техники уже с давних пор. Прежде чем создать новую машину, прибор или построить то или иное новое техническое сооружение инженеры очень часто создают модели своих будущих творений. Модель чаще всего не является точной копией проектируемого сооружения. Она может быть построена из других материалов, иметь совершенно другие размеры. Несмотря на это, при изучении такой модели могут быть вскрыты некоторые важные закономерности, имеющие большое значение в работе над проектом.

Моделирование используется также в химии и в физике. Собственно говоря, структурная формула химического вещества, в некотором смысле уже представляет собой определенную модель. В этой модели отдельные атомы и их связи обозначены при помощи определенных символов.

При помощи моделей можно представить себе протекание сложных химических реакций. Интересный пример, иллюстрирующий пользу этого метода, приводит У. Росс Эшби (60). Он указывает на то, что, используя метод моделирования при помощи карандаша и бумаги, ученые Леверрье и Адамс нашли новую планету Нептун в несколько месяцев, в то время как решение этой задачи путем непосредственных поисков

FOR OFFICIAL USE ONLY

планеты при помощи телескопа потребовало бы от ученых всей их жизни.

Подобные же методы моделирования ученые используют и при изучении физиологических и биохимических процессов. Как уже говорилось при изучении живых организмов исследователи сталкиваются часто со сложной картиной взаимодействия большого числа физиологических процессов. Эти процессы протекают одновременно и взаимно влияют друг на друга.

Одним из важных этапов физиологического исследования является создание на бумаге определенных схем. Создание таких схем может иметь большое значение в процессе научного исследования. Таким путем экспериментатор может представить себе полную картину сложного изучаемого явления, обобщив в этой картине полученные в разное время и разными методами сведения. На основании рассмотрения схемы могут быть созданы новые рабочие гипотезы и намечены новые серии физиологических экспериментов.

Метод создания подобных схем представляет собой по существу метод моделирования.

В настоящее время созданы методы, позволяющие создать динамические модели. В современных кибернетических машинах мы можем создавать модели различных физиологических процессов и явлений. Использование таких моделей могло бы сыграть большую роль в изучении целого ряда проблем медицины и физиологии. На значение этого направления для развития медицинской науки указывает действительный член АМН СССР В. В. Парин.

Таким образом вопрос о том, нужно ли использовать модели, оказывается уже решенным практикой научного исследования. В настоящее время актуальное значение приобретает, как нам кажется, другой вопрос, вопрос о том, нельзя ли, используя современные достижения техники, сделать более совершенными сами приемы, используемые при создании моделей.

Современное достижение радиоэлектроники, как это подчеркивает видный советский ученый А. Н. Берг (10,11), открывает в этом отношении широкие перспективы.

Наряду с этим следует подчеркнуть, что метод моделирования сам по себе не может решить физиологические проблемы. Он приобретает большое значение только в том случае, если применяется в тесном взаимодействии с физиологическими приемами исследования.

Создание той или иной электронной модели, само по себе не может служить доказательством того, что в головном мозгу имеется именно такая система нервных элементов. Хорошо известно, что один и тот же внешний эффект может быть

FOR OFFICIAL USE ONLY

достигнут в результате создания различных радиоэлектронных систем.

При создании и изучении кибернетических моделей важно учитывать некоторые правила, нарушение которых может привести к серьезным методическим ошибкам. Следует подчеркнуть, что модель (например, модель условного рефлекса) никогда не может быть тождественной изучаемой биологической системе, она должна лишь обеспечивать реализацию тех принципов, для изучения которых она создается*.

Большое значение в использовании метода моделирования имеет современная теория об «изоморфизме» различных систем. Представление о явлении «изоморфизма», которое излагается, в частности, в книгах И. А. Пестова (52), У. Росс Эшби (60) создает теоретическую основу, позволяющую понять те сложные взаимоотношения, которые складываются при изучении головного мозга и его кибернетических моделей.

Было бы неправильно думать, что физики и математики, проводящие работу в области кибернетики, одни могут решить биологические проблемы. Мы уже подчеркивали, что прогресс в области изучения физиологии может быть достигнут лишь при сочетании методов физиологического эксперимента с методом создания соответствующих моделей. Поэтому только после того, как физиологи и биохимики овладеют методами современной кибернетики и научатся творчески применять эти методы исследования при решении конкретных вопросов физиологии и медицины, можно ожидать тех решающих сдвигов в развитии науки, которые уже подготовлены развитием радиоэлектроники.

г) Нейрокибернетика и изучение головного мозга

В настоящее время уже изучены многие процессы, протекающие в коре больших полушарий, однако физиологическая сущность таких основных характерных для головного мозга явлений, как процесс мышления, память и др. остается неясной, а между тем от успеха в изучении этих вопросов в значительной степени зависит и решение некоторых актуальных практических задач.

Головной мозг представляет собой сложнейшую систему особым образом связанных между собой и влияющих друг на друга («ассамблею») нервных элементов. В процессе работы головного мозга возникают сложнейшие картины взаимодействия очень большого количества нервных клеток. При этом создаются мозаики из возбужденных и заторможенных элементов.

* См. стр. 29.

FOR OFFICIAL USE ONLY

В настоящее время становится ясным, что решение ряда актуальных проблем, связанных с изучением головного мозга, лежит именно на пути изучения вопроса о том, какие системы («конструкции») образуют нервные клетки и какие физиологические процессы разыгрываются в этих конструкциях.

Известно, что отдельные нервные элементы не обладают теми замечательными свойствами (мышление, фантазия и др.), которыми обладают головной мозг в целом. Эти явления возникают только в системах, объединяющих в своем составе многие тысячи нервных элементов. Здесь мы сталкиваемся с соотношениями, которые в более четкой форме проявляются при работе электронных машин. Как мы уже говорили, каждый из элементов машины, например, радиолампа, обладает относительно простыми свойствами. Только в системах, объединяющих в своем составе большое количество определенных образом связанных между собой элементов, возникают те замечательные свойства, которыми обладают современные электронные машины, играющие в шахматы, переводящие с одного языка на другой, производящие сложные вычисления и т. д.

Таким образом проблемы изучения головного мозга оказываются тесно связанными с анализом работы системы взаимосвязанных между собой элементов.

Те трудности, с которыми сталкивается физиология и патофизиология головного мозга, были в значительной степени связаны с отсутствием методических приемов, позволяющих подойти к решению этой проблемы. Это важное обстоятельство, значение которого становится в полной мере очевидным только в последнее время, часто не принималось во внимание. В свое время физиологами делались многочисленные попытки подойти к изучению работы головного мозга при помощи ряда методов, разработанных и оправдавших себя при изучении внутренних органов. Эти методы были связаны с раздражением отдельных участков мозга электрическим током и различными фармакологическими агентами, удалением различных областей мозга и с изучением биоэлектрических явлений, возникающих при работе различных нервных элементов и групп элементов.

Эти методические приемы исследования позволили накопить большое количество новых разрозненных фактов, характеризующих деятельность головного мозга, однако не привели к вскрытию основных принципов и механизмов его работы. Отсутствие общей теории изучения сложных систем часто приводило к тому, что на основании экспериментов делались ошибочные выводы. Например, в ходе эксперимента удалялся тот или иной отдел мозга. Изучались те изменения, которые возникали в поведении животного, и на основании этого делался вывод о той функции, которую нес удаленный участок

FOR OFFICIAL USE ONLY

Этот способ исследования был бы правильным, если бы головной мозг представлял собой механическую сумму различных нервных центров. В действительности же удаление любого участка мозга приводит к появлению изменений во всей системе в целом, к торможению или возбуждению других отделов, результатом чего может явиться наблюдаемое изменение в работе головного мозга. Те же ошибки могут быть сделаны при использовании методики раздражения отдельных участков мозга и отведении биоэлектрических потенциалов от различных нервных центров.

В свое время было трудно предвидеть результаты, к которым может привести та или иная новая экспериментальная методика, поэтому возможности некоторых методов исследования значительно переоценивались. Существовало мнение (которого придерживаются и некоторые современные физиологи), что достаточно усовершенствовать экспериментальную методику таким образом, чтобы оказалось возможным отводить биотоки от большого числа отдельных нервных клеток, сочетая этот метод с искусственным раздражением участков головного мозга, чтобы открылись пути к познанию основных закономерностей и механизмов работы головного мозга. Эти представления отвлекали внимание исследователей на исключительно трудоемкий и сложный путь, который, как это становится очевидным в настоящее время, не оправдывает возложенных на него надежд.

В настоящее время в связи с развитием кибернетики ученые приобрели опыт изучения сложных систем различных типов. Вместе с тем становится более ясной и перспектива исследования головного мозга, как весьма сложной системы. Открываются возможности для более правильной оценки перспективности тех или иных методов исследования. Становится очевидным, что трудности, связанные с изучением головного мозга, носили не технический, а принципиальный характер, и что они могут быть преодолены только на путях изучения головного мозга, как сложной целостной функциональной системы. Даже появившиеся в последнее время новые методы исследования, связанные с отведением биотоков головного мозга при помощи микроэлектродов, с одновременной записью биотоков от многих точек головного мозга, а также с комплексным использованием метода локального раздражения с приемами отведения биотоков, примененные изолированно, не могут решить основных проблем физиологии головного мозга.

Представим себе некоторый идеальный случай. Допустим, что оказалось бы возможной одновременная и непрерывная запись потенциалов от всех нервных клеток головного мозга. Причем потенциалы каждой клетки будут записываться независимо от других. В этом случае экспериментатор оказался

2*

FOR OFFICIAL USE ONLY

бы, очевидно, в таком положении, в котором находится человек, пытающийся по вспыхиванию радиоламп и работе реле понять принципы работы вычислительной машины. Такая задача окажется, очевидно, затруднительной в том случае, если человек не знаком с общими принципами работы систем этого типа. К таким же результатам приведет, очевидно, и попытка раздражения отдельных элементов, которые можно сопоставить с возможностью включения отдельных ламп. Этот метод может привести к вскрытию некоторых фактов и закономерностей, но не может привести к познанию основных принципов работы системы.

Приведя в качестве сравнения систему, состоящую из радиоэлектронных элементов, мы имели в виду, что на этой системе в более наглядной форме можно иллюстрировать некоторые общие принципы изучения сложных систем.

Таким образом, становится все более и более очевидной необходимость использования методов исследования, позволяющих подойти к изучению головного мозга, как сложной функциональной системы.

Решающее значение в изучении этой проблемы имела, как известно, разработка И. П. Павловым и его учениками объективного метода исследования высшей нервной деятельности. Основные принципы этого метода хорошо известны. Его сущность заключается в том, что в ходе опыта на мозг оказываются определенные воздействия и различные комплексы воздействий (комплексы раздражителей) и изучаются ответы системы на эти раздражители.

При помощи этого метода могут быть выявлены общие правила (алгоритмы) работы головного мозга, как функциональной системы. Этот метод дает возможность включать в ходе эксперимента любые комплексы сигналов и точно учитывать, как характер комплексов раздражителей, так и характер сложных ответов животного. Таким образом, он открывает широкие возможности для научного анализа изучаемого явления.

И. П. Павловым были вскрыты основные правила, приводящие к выработке новых условнорефлекторных реакций и к исчезновению (торможению) ранее выработанных временных связей. Эти правила хорошо известны.

Следует, однако, подчеркнуть, что характер выявленных в ходе эксперимента закономерностей деятельности головного мозга в значительной степени зависит от характера и сложности того комплекса воздействий, который экспериментатор оказывает на мозг в ходе эксперимента. В начале изучения этой проблемы, применялось относительно простая форма эксперимента, которая позволила выявить закономерности формирования одиночных условных рефлексов. Однако большое значение открытия И. П. Павлова связано именно с тем,

FOR OFFICIAL USE

что оно дает общие принципы, создающие базу для дальнейшего развития этой области исследования. Идя по пути усложнения применяемых в ходе опыта комплексов воздействий, экспериментатор получает возможность изучения все более и более сложных систем правил (алгоритмов) работы головного мозга.

В связи с этим большое значение приобретают проводящиеся в последнее время исследования, в которых применялись более сложные системы воздействий, приводящие к выработке уже не одиночных условных рефлексов, а сложных систем условнорефлекторных реакций (1, 12, 14, 15, 19, 20, 21, 37, 55).

Принципы изучения головного мозга близки к кругу представлений, рассматриваемых кибернетикой в связи с проблемой «черного ящика». При этом следует заметить, что в данном случае речь идет об изучении очень сложного «черного ящика», который не только обладает определенными формами ответов на различные комплексы сигналов, но и может изменяться под влиянием этих сигналов. Этот «черный ящик» имеет очень большое количество входов и выходов в виде рецепторных и эффекторных нервных клеток, причем каждое из возбуждений, идущих в центральную нервную систему или из центральной нервной системы к периферии, охватывает сложный комплекс входов или выходов.

Новые широкие перспективы в исследовании головного мозга открываются в связи с современными достижениями кибернетики, в частности, в связи с развитием нейрокибернетики. Кибернетика разрабатывает методы, позволяющие подойти к исследованию сложных систем и тем самым преодолеть ряд серьезных трудностей, которые стоят в настоящее время на пути исследования головного мозга.

Нейрокибернетика, как наука, обладающая специфическими методами исследования и имеющая свой круг проблем, не может охватить всех сторон работы головного мозга. Она не рассматривает в частности, различные конкретные формы обмена веществ, лежащие в основе деятельности мозга, вне поля ее зрения остаются сложные биоэлектрические явления и процессы, связанные с обменом веществ и энергии. Предметом рассмотрения нейрокибернетики являются главным образом те сложные процессы переработки информации и процессы управления, которые осуществляются в головном мозгу. Эти процессы связаны с функционированием сложных систем, состоящих из большого числа особых образом соединенных между собой нервных клеток.

При изучении головного мозга можно выделить два основных направления исследования. Первое направление связано с изучением общих закономерностей (алгоритмов) работы го-

FOR OFFICIAL USE ONLY

ловного мозга. Второй задачей является изучение физиологических механизмов его работы.

Успешное изучение первой из перечисленных проблем, как мы уже говорили, может быть осуществлено на базе использования разработанных И. П. Павловым методов.

Достижения нейрокибернетики открывают новые перспективы в исследовании этой проблемы. Разработка общей теории самоорганизующихся систем управления дает возможность более широко подойти к проблеме изучения работы головного мозга. Оказывается возможным рассмотреть сложную систему взаимоотношений, возникающих между головным мозгом и внешней средой, учитывая при этом не только влияние различных комплексов внешних сигналов на головной мозг, но и те изменения, которые вносит организм в окружающую его внешнюю среду. При изучении этой проблемы оказывается необходимым использование ряда специфических методов исследования и, в частности, метода моделирования. Подробно эта проблема будет рассмотрена в IV и VI главах нашей работы.

Большое значение имеют методы нейрокибернетики и при изучении второй из перечисленных проблем. Вопрос о механизмах работы головного мозга является одним из наиболее сложных вопросов. Для изучения этой проблемы необходимо более полное описание основных правил (алгоритмов) работы головного мозга, так как без более или менее полного описания общих принципов работы системы трудно создать плодотворную гипотезу относительно устройства ее внутренних механизмов. В этом отношении, как мы говорили, достигнуты определенные результаты.

Существенным достижением нейрокибернетики является разработка теории нервной сети (основные положения этой теории изложены в гл. II и VI).

На первых этапах изучения головного мозга, когда исследователи имели дело со сравнительно простыми формами его деятельности, физиологический анализ полученных фактов мог основываться на рассмотрении схемы простой рефлекторной дуги одиночного условного рефлекса. Однако в дальнейшем, при анализе явлений, возникающих в сложных системах двигательных условных рефлексов, такой подход оказался уже недостаточным. Возникает необходимость перейти к рассмотрению нервных сетей, систем, состоящих из очень большого количества взаимосвязанных между собой нервных элементов, и рассмотрению тех процессов, которые разыгрываются в этих системах. В ходе такого рассмотрения оказывается необходимым использование всей той суммы сведений относительно систем нервных элементов, которыми располагает в настоящее время теория нервной сети. Таким образом, «теория нервной сети», которая сама по себе в отрыве от фи-

FOR OFFICIAL USE ONLY

физиологических экспериментов не может, конечно, привести к выводам о механизмах работы головного мозга, может играть важную роль в решении этой проблемы.

Одной из основ этого рассмотрения является, как известно, допущение того, что нервные элементы могут иметь определенный порог возбуждения и в результате этого приходить в состояние возбуждения только при одновременном поступлении в нервные клетки нескольких импульсов. Этот принцип, который получает подтверждение в результате физиологического изучения работы нервных клеток, позволяет подойти к анализу более сложных явлений. На этой основе можно представить себе нервные сети, обладающие способностью вести подсчет числа поступающих импульсов, сравнивать различные комплексы раздражителей друг с другом, улавливать момент совпадения двух сигналов. Возможная структура нервной сети, лежащей в основе формирования цепей условных рефлексов, приведена в гл. VI настоящей работы. Подобные системы могут существовать в головном мозгу и поэтому нет основания при теоретическом рассмотрении физиологических механизмов исходить только из схемы простой рефлекторной дуги.

Следует отметить, что хотя на первый взгляд теория нервной сети развивается в известной степени независимо от физиологического эксперимента, такая взаимная зависимость несомненно должна существовать. Экспериментальное доказательство существования новых сложных форм работы головного мозга ставит новые задачи по разработке принципов построения нервных сетей, лежащих в основе вновь выявленных особенностей работы головного мозга.

Разработка этих вопросов должна тесно сочетаться с проведением физиологических экспериментов на животных. Физиологические эксперименты позволяют расчленить такие сложные явления, как, например, явление «образования понятий» и т. д. на простые составные компоненты.

На основе экспериментальных исследований может быть осуществлена разработка нервных сетей.

При проведении этой работы большое значение может иметь метод создания соответствующих радиоэлектронных моделей. Создание модели может подтвердить правильность разработанной системы представлений.

Встает вопрос об изыскании путей доказательства тождественности выдвигаемых на этой основе гипотез и тех конкретных структур нервных элементов, которые функционируют в головном мозгу.

Может быть разработано несколько схем нервных сетей, обеспечивающих одинаковые внешние формы работы системы. Можно также допустить, что при работе головного мозга используется какая-то другая структура, основанная на других,

FOR OFFICIAL USE ONLY

еще неизвестных принципах. Признавая трудности решения этой проблемы, следует подчеркнуть, что она не является неразрешимой.

Уже в настоящее время могут быть намечены некоторые пути решения этой проблемы, которые используются с успехом в других областях человеческого знания (в химии, физике и т. д.). Этот метод связан с выдвижением нескольких гипотез и последующей постановкой таких экспериментов, которые бы опровергли одну из гипотез и подтвердили другую.

1) При рассмотрении двух или нескольких различных схем нервных сетей могут быть выявлены некоторые специфические условия, в которых они должны будут вести себя не одинаково. В этом случае может поставлен специальный эксперимент, который выявит, как в данных условиях ведет себя головной мозг. Этот эксперимент позволит отбросить одну из гипотез и подтвердить другую. Такой путь исследования широко используется химией в том случае, когда для подтверждения новой гипотезы о характере структурной формулы того или иного вещества изучаются реакции данного соединения с другими веществами.

2) При рассмотрении той или иной гипотезы относительно строения «нервной сети» может оказаться возможным предвидеть определенные формы поведения данной системы в новых ситуациях. Если эксперимент подтвердит данные предположения и, таким образом, удастся на основании теории предвидеть новые явления, то данная теория приобретает право на существование.

3) Большое значение в утверждении достоверности той или иной гипотезы приобретает обычно возможность объяснения на основе этой теории большого числа ранее описанных фактов. Очень часто интуитивное представление о той или иной теории, как о «вполне достоверной», создается без непосредственного реального доказательства на том основании, что она объясняет много фактов, которые ранее не находили объяснения.

4) Для подтверждения или опровержения тех или иных гипотез могут быть использованы различные методы изучения головного мозга, связанные с раздражением его отдельных участков, экстирпацией, отведением потенциалов от различных участков и т. д. Эти методы могут иметь значение, если будут использоваться для доказательства или опровержения уже сформировавшейся гипотезы.

5) Большое значение для подтверждения той или иной гипотезы может иметь рассмотрение морфологического строения мозга, а также анализ различных случаев поражения участков мозга в связи с изучением функциональных нарушений.

В настоящее время сложная картина строения мозга представляется загадочной. В случае, если бы была создана гипотеза, которая объяснила бы все особенности расположения и строения нервных центров в головном мозгу и специфику функциональных нарушений при их повреждении, такая гипотеза, видимо, оказалась бы очень ценной и рассматривалась бы как в достаточной степени достоверная.

б) Конечным подтверждением правильности теории является критерий практики. Если описываемый нами способ рассмотрения деятельности головного мозга приведет к успехам в выяснении причин заболеваний и поможет при решении некоторых технических проблем, то он приобретет, очевидно, право на существование.

Таким образом, проблема доказательства правильности тех или иных гипотез не является неразрешимой. Во всяком случае, указание на трудности доказательства достоверности той или иной гипотезы не может являться веским аргументом против проведения работы в этом направлении.

д) Нейрокибернетика и патофизиология

Изучение причин заболеваний и их патофизиологических механизмов оказывается тесно связанным с рассмотрением сложных систем, в которых проявляются процессы управления и переработки информации. При этом рассматривается не только функционирование этих систем в их нормальном состоянии, но и изучаются различные формы нарушения и отклонения процессов управления и регулирования. В связи с этим нейрокибернетика приобретает в настоящее время центральное значение для изучения проблем патофизиологии.

При изучении патологических явлений, так же как и в физиологии, широкое распространение получили приемы исследования, связанные с расчленением сложных процессов на составляющие их элементы и с воздействием на эти отдельные элементы системы. Принципиальная логика исследования при этом часто сводилась к тому, что если удаление того или иного органа, перерезка нервного ствола или искусственное прекращение какого-либо процесса приводило к исчезновению симптомов болезни, то делался вывод, что удаленный фактор и являлся причиной данного заболевания. С другой стороны, если введение того или иного вещества, раздражение нерва или пересадка органа приводила к возникновению симптомов болезни, то это могло служить основанием для выдвижения новой гипотезы о причинах и механизмах развития данного патологического состояния.

На основании таких исследований были созданы многочисленные гипотезы о причинах заболеваний, и разрабатывались новые методы лечения. Например, были созданы много-

численные гипотезы о причинах гипертонической болезни, связанные с нарушением в работе почек, депрессорных нервов, гуморальными сдвигами в составе крови, нарушениями центров головного мозга и т. д. Были разработаны соответствующие методы лечения, основанные на воздействии на эти органы (например, удаление симпатических ганглиев). Однако впоследствии выяснялось, что все изученные факторы представляют собой лишь отдельные звенья сложной системы процессов и что методы лечения, основанные на воздействии на эти звенья недостаточно эффективны. Так, например, удаление симпатических ганглиев в случае гипертонической болезни, удаление участков желудка в случае язвенной болезни, удаление щитовидной железы в случае гипертиреоза не приводило к стойкому излечению заболевания. Причиной болезни во всех этих случаях, на наш взгляд, являлось общее нарушение сложных процессов управления и регуляции функций в организме. Воздействие на одно звено сложной системы процессов не приводило к восстановлению общих регуляторных процессов и не приводило к исчезновению заболевания. С точки зрения общей теории функционирования системы влияние какого-либо фактора на патологический процесс не может служить доказательством, что именно этот фактор является причиной болезни, так как он может являться лишь одним из звеньев системы процессов.

Иногда применяемый метод лечения, хотя и приводит к временному устранению симптомов заболевания, однако не задерживает развития патологического процесса в целом. Так, например, когда был сделан вывод, что в основе микседемы лежит снижение концентрации гормона щитовидной железы, а в основе сахарного диабета лежит снижение концентрации инсулина, для лечения этих заболеваний стал использоваться метод введения этих веществ в кровь больных, что приводило к временному устранению симптомов заболевания и облегчению страданий, что, конечно, имеет очень большое значение для больного. Однако, по мнению Эшби (59), этот прием лечения не устраняет патологического состояния в целом. Причина болезни заключается в нарушении общих процессов управления.

Таким образом, становится все более и более очевидным необходимость рассмотрения болезни с точки зрения общей теории функционирования систем, важность использования положений общей теории управления, а также разработки таких методов исследования, которые позволили бы подойти к изучению болезни, как сложной системы процессов.

Большое значение при этом имели работы И. П. Павлова. И. П. Павлов рассматривал заболевание, как сложную систему процессов, в которой тесно переплетаются между собой сдвиги, вызванные действием самого патогенного агента и ра-

FOR OFFICIAL USE ONLY

ботой защитных компенсаторных механизмов. При этом решающая роль принадлежит нервной системе.

Павлов выдвинул очень важное положение о том, что в основе развития заболевания могут лежать те же самые системы управления и процессы, которые в обычных условиях имеют большое приспособительное или защитное значение. В определенных условиях эти механизмы получают свое гипертрофированное выражение и становятся базой для развития заболевания. Например, физиологические механизмы, обеспечивающие повышение уровня кровяного давления в период опасности имеют большое значение в жизни животных, так как в период опасности необходимо обеспечить обильное поступление крови к мышцам для обеспечения их интенсивной работы (борьба с врагом или бегство). Однако эти же самые механизмы, как на это указывает Г. Ф. Ланг (38), становятся основой развития гипертонической болезни.

Большое значение имели работы И. П. Павлова (54) и его учеников и последователей (5, 15, 16, 47, 28, 48), которые показали, что в основе развития заболеваний может лежать выработка систем патологических условных рефлексов. Этот важный приспособительный физиологический механизм также может стать основой развития патологического состояния.

Быстрая выработка условных рефлексов, связанных с опасностью для жизни животного, может иметь большое приспособительное значение. Эти же механизмы в определенных условиях могут стать основой для развития патологического состояния организма (28, 15, 16, 47). Именно в результате прочности и легкости образования этих рефлексов, они могут являться причиной стойкого повышения уровня кровяного давления.

Подобные же механизмы лежат и в основе развития некоторых заболеваний желудочно-кишечного тракта и других патологических состояний. В их основе также лежат приспособительные реакции, предотвращающие отравление организма при попадании в желудок ядовитых веществ (например, рвотный рефлекс). Известное значение для предотвращения отравления имеет способность к быстрой выработке соответствующих прочных условных рефлексов. Однако эти же условнорефлекторные реакции могут явиться при некоторых условиях базой для развития заболеваний.

Новые широкие перспективы открываются перед патологической физиологией в связи с развитием кибернетики. Кибернетика, как на это указывает Эшби (59, 60), создает общую теорию работы сложных систем управления и обеспечивает новые методы для исследования сложных систем. В связи с этим открываются возможности непосредственного перехода от изучения отдельных звеньев и симптомов болезни к созданию целостной картины ее патогенеза и выяснению действи-

FOR OFFICIAL USE ONLY

тельных причин ее возникновения. Решение этой проблемы окажется возможным только в том случае, если научные работники, разрабатывающие различные отделы патофизиологии, овладеют основными методами кибернетики и начнут творчески применять эти методы в своей области исследования. Было бы неправильным ожидать, что эта задача может быть решена только физиками или математиками.

Мы имели возможность рассмотреть вопрос о роли кибернетики в изучении психических заболеваний (15). В настоящей работе мы останавливаемся только на некоторых общих вопросах использования нейрокибернетики при изучении патофизиологии. Нам кажется возможным утверждать, что трудности подхода к изучению целого ряда заболеваний (гипертоническая болезнь, язвенная болезнь и др.) связаны с тем, что мы до сих пор очень мало знаем о тех сложных регуляторных механизмах, о тех сложных процессах управления, которые функционируют в нормальном организме.

Большое значение в развитии патологических состояний имеет, видимо, такое состояние системы, при котором изменение одного из ее процессов (компонента А) приводит к целому ряду сдвигов других систем, причем в конце концов возникает влияние, усиливающее компонент А, т. е. усиливающее процесс, вызвавший реакцию. Возникают замкнутые системы с положительной обратной связью. Функционирование таких систем в настоящее время хорошо изучено.

В нашей специальной работе (15) мы попытались наметить пути исследования такой системы при развитии психических заболеваний.

Большое значение в развитии патологических состояний в некоторых случаях может иметь отклонение в работе механизмов, связанных с формированием новых систем условных рефлексов, искажением алгоритмов работы этих систем. Последствия такого нарушения особо ощутимы в связи с тем, что незначительное нарушение этих систем приводит к формированию целого комплекса все новых и новых патологических систем рефлексов, что может привести к существенным нарушениям в работе регуляторных механизмов. Этот тип нарушения, видимо, играет роль, как при изучении проблемы заболеваний внутренних органов, так и при изучении проблемы психических болезней (15). При этом наибольшее значение, вероятно, имеют в данном случае механизмы, обеспечивающие выработку систем рефлексов, связанных с защитными функциями организма. Эти системы оказываются наиболее активными и поэтому более часто наблюдается их отклонение в сторону гипертрофии.

При анализе перечисленных выше случаев развития патологического процесса большое значение, видимо, может иметь знание общих принципов функционирования систем управле-

FOR OFFICIAL USE ONLY

ния и применения специальных методов, позволяющих вести эффективное их исследование. Этот круг вопросов входит в рассмотрение кибернетики. Таким образом, кибернетика в изучении патогенеза может сыграть известную роль, как на это указывает также действительный член Академии медицинских наук И. В. Давыдовский.

Большое значение при изучении патологических явлений может иметь возможность моделирования некоторых общих принципов в кибернетических машинах.

По вопросу о моделировании в кибернетике существуют различные точки зрения. Одна из них сформулирована в статье академика А. Дородницына, опубликованной в Правде 29 мая 1959 г. «Возможности современных электронно-вычислительных машин таковы, что они могут выполнять практически любые «интеллектуальные» операции, свойственные человеку, если только человек познал логику этих операций».

Некоторые исследователи выдвигают тезис о невозможности моделирования условных рефлексов на том основании, что в модели невозможно воспроизвести все сложные биохимические и биофизические процессы, которые играют важную роль в работе нервных клеток.

Подобные возражения, однако, основаны на недоразумении. Модель никогда не воспроизводит полностью всех свойств моделируемого объекта, однако моделирование не теряет при этом своего значения.

Говоря о моделировании условного рефлекса мы имеем в виду не полное воспроизведение всего этого явления в электронной модели, а воспроизведение внешних аналогий в работе модели и объекта. Внешне модель и объект описываются одинаковыми алгоритмами работы (см. гл. IV). Нас не интересует в данном случае комплекс биохимических и биофизических процессов.

Переходя к следующей главе, необходимо отметить, что в современной кибернетической литературе при характеристике работы машин часто используются психологические и физиологические термины «представление», «обучение», «память», «выработка условного рефлекса» и др. Используя эту сложившуюся уже терминологию мы имеем в виду лишь общность некоторых отдельных принципов, а не тождество явлений в головном мозгу и машине. Не может быть и речи о сведении психических процессов к процессам, происходящим в машинах.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Г Л А В А II

ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ

(краткий обзор работ)

В этой главе мы рассмотрим работы некоторых ученых, с которыми тесно связано развитие кибернетики. Это работы по общей теории автоматов.

а) «Теория нервной сети»

Большой интерес для изучения физиологии головного мозга имеет метод, созданный в последнее время группой американских нейро-физиологов и математиков [Мак-Каллок и Питтс (41), С. К. Клини (30) и др.], который в настоящее время определяется как метод теоретической неврологии или «теория нервной сети».

В 1943 году американские ученые У. С. Мак-Каллок и В. Питтс пришли к выводу, что, поскольку нервная активность подчиняется закону «все или ничего», то нейронные события и соотношения между ними можно изучать средствами логики предложений. Сделав некоторые допущения, они создали абстрактную модель нейрона — формальный нейрон (подробнее о формальном нейроне см. в гл. VI).

Применяя специальный математический аппарат к исследованию сетей, построенных из таких нейронов, они определили класс событий, представимых в таких сетях. Однако, результат Мак-Каллока и Питтса является довольно сложным для понимания и это побудило Клини, а затем Медведева вновь поднять вопрос о представимости событий в нервных сетях и конечных автоматах.

Рассматривая этот вопрос, Клини ввел понятие регулярного события: «Событие называется регулярным, если имеется регулярное множество таблиц, описывающее это событие в том смысле, что событие наступает или не наступает смотря по тому, описывается ли вход некоторой таблицей этого множества или нет».

FOR OFFICIAL USE ONLY

Оказывается, что в нервных сетях и конечных автоматах представим только класс регулярных событий и только он.

Формулируя этот вывод несколько иначе, Клини доказывает, что представимыми являются примитивно-рекурсивные события*.

Рассматривается, как пример, событие не представимое в таких сетях (30).

Работа Ю. Т. Медведева (44) ставит своей задачей получить более легко обозримый результат, чем у Клини.

Он вводит понятие конечного автомата: «Конечным автоматом A называется объект с конечным числом $m \geq 1$ состояний a_1, a_2, \dots, a_m и конечным числом $n \geq 1$ входов I_1, I_2, \dots, I_n . Каждый из входов I_k определяет некоторое отображение I_k а множества M состояний в себя. Под действием входа I_k ($k=1, 2, \dots, n$) автомат A переходит из состояния a_i ($i=1, 2, \dots, m$) в состояние $a_j = I_k a_i$ ».

Все конечные автоматы и в том числе нервные сети Мак-Каллока и Питтса подходят под это определение.

Далее рассматриваются некоторые события, называемые «элементарными» и основные операции над событиями.

Поясним, что здесь понимается под «событием». Факторы, внешние по отношению к автомату и вызывающие возбуждение того или иного входа называются символами. «Событием E над символами S_1, S_2, \dots, S_n называется всякое свойство C появлений символов. Иначе говоря, каждое событие определяется выделением некоторого множества конечных упорядоченных последовательностей символов» (44).

В качестве примера элементарного события рассмотрим событие E — событие, которое наступает при тех и только при тех появлениях символов, при которых в настоящий момент появляется символ S_i .

Основных операций над событиями — 6. Примером основной операции может служить конъюнкция E_1, E_2 , т. е. событие наступает, когда наступают оба события E_1 и E_2 .

Результатом работы Медведева является теорема:

«Представимыми являются те и только те события, которые могут быть получены из элементарных путем конечного числа применений основных операций».

Таким образом, события, представимые в конечном автомате, представляют собой ограниченный класс событий. Из этого не следует, однако, что непредставимые события имеют какое-то биологическое значение.

Модель нейрона, построенная Мак-Каллоком и Питтсом, не является единственной. В докладе на Международной конференции по переработке информации в Париже в 1959 г. Д. Виллис (22) предложил модель пластического нейрона,

* О примитивно-рекурсивных событиях (31).

FOR OFFICIAL USE ONLY

т. е. нейрона изменяющего свои логические свойства в зависимости от его деятельности. Виллис утверждает, что его вид модели пластического нейрона совместим с большой емкостью и с явным характером произвольной выборки человеческой памяти.

Формальная модель нейрона во многом отличается от реального нейрона. Так реальный нейрон может передавать интенсивность возбуждения путем посылки повторных импульсов с переменной частотой.

Однако рассмотрение нервных сетей из нейронов близких к реальным очень сложно математически, так как при их описании появляются временные параметры и переменный во времени порог возбудимости нейрона.

Интересный вопрос рассматривается в работе К. де-Леу, Э. Ф. Мур, К. Э. Шеннон и Н. Шапиро «Вычислимость на вероятностных машинах». Имеется ли что-нибудь, что может сделать машина со случайным элементом, но не может сделать детерминистская машина? Оказывается некоторый класс вероятностных машин обладает несколько большими способностями по сравнению с детерминистскими.

Примененный Мак-Каллоком и Питтсом и другими метод, конечно, сам по себе не может решить проблемы изучения работы головного мозга. Положительные результаты могут быть достигнуты только путем комплексного использования различных методов исследования, причем ведущее значение при этом имеет разработанный И. П. Павловым физиологический метод исследования высшей нервной деятельности. Теория нервной сети является, однако, ценным дополнением, значительно расширяющим перспективы исследования.

б) Синтез автоматов

Многие исследователи интересуются вопросами синтеза автоматов. Автоматы синтезируются с учетом некоторых основных свойств головного мозга.

Рассмотрим несколько работ, посвященных вопросам синтеза автоматов.

В частности Дж. Т. Калбертсон в работе «Некоторые неэкономичные работы» (29) рассматривает вопрос о принципах возможного построения роботов, обладающих способностями к сложным формам поведения, не ограничивая свое рассмотрение какими бы то ни было пределами в отношении числа используемых рабочих элементов и размеров машины.

Он рассматривает два типа роботов — робот без памяти и полный робот.

Робот без памяти строится следующим образом: выбирается некоторое число рецепторов, некоторое число эффекто-

FOR OFFICIAL USE ONLY

ров и составляется программа. В программе каждой комбинации рецепторов (см. гл. VI) ставится в соответствие определенная комбинация эффекторов. Затем по этой программе собирается робот.

Робот полный отличается от робота без памяти тем, что у него имеются клетки памяти, причем робот «помнит» все, что с ним когда-либо происходило. Программа для полного робота примерно та же, что для робота без памяти, только каждая комбинация эффекторов ставится в соответствие определенному множеству клеток памяти.

Калбертсон делает вывод, что полный робот принципиально может выполнять любую заданную программу, «искусно разрешать проблемы, сочинять симфонии...» и т. д.

«Можно построить полный робот, ведущий себя так же, как Джон Джонс»....

Верно ли это? Нам кажется, что нет. Может ли такой робот сочинить симфонию, вообще делать творческую работу?

Ведь, чтобы он мог это делать, его создатель должен еще раньше проделать все это за него при составлении программы.

Связи между эффекторами и клетками памяти полностью детерминированы программой, поэтому «память» ничего не дает этому роботу. Он не может накапливать опыт и вести себя в соответствии с накопленным опытом. Такой робот может быть создан лишь для определенного состояния внешней среды и погибнет, если среда изменится. Более того по своим возможностям он не отличается от робота без памяти. В самом деле поставим каждое множество клеток памяти в соответствие определенному множеству рецепторных нейронов. Программу и эффекторные нейроны оставим такими же, как у полного робота. Таким образом мы получим робот без памяти, только число рецепторов у него будет увеличено.

Отсюда ясно, что построение роботов, типа описанных Калбертсоном, не имеет смысла. Необходимо, чтобы робот мог накапливать информацию из внешней среды и действовать на основе накопленного опыта. Для этого связи между эффекторами и клетками памяти не должны быть детерминированы, они должны устанавливаться в результате взаимодействия с внешней средой. К таким автоматам можно отнести машину условной вероятности Аттли, «Персептрон» Розенблата, а также автомат, описанный в конце данной книги.

Эти три работы сходны по своим конечным целям, однако во всех трех случаях пути различны.

Машина Аттли (7, 8) основана на двух известных математических соотношениях: первое — соотношение включения теории множеств, второе — соотношение условной вероятности.

На основании первого соотношения машина классифицирует внешние воздействия, в машине образуются некоторые представления. Некоторые представления могут с некоторой

FOR OFFICIAL USE ONLY

вероятностью появляться совместно, т. е. имеется некоторая условная вероятность между появлениями этих представлений. Установление значения этой условной вероятности приводит к условному рефлексу, если придать машине эффекторные механизмы.

Если кроме прямых путей между входными сигналами и машиной условной вероятности имеются пути с задержкой, то машина сможет различать временные изображения.

Интересно также сообщение в журнале «Aviation Week» (18) о создании Розенблатом в США электронной машины «Персептрон». В сообщении утверждается, что эта машина способна классифицировать, воспринимать и символически изображать окружающие условия, а также учитывать совершенно новые и непредвиденные изменения в окружающих условиях.

По короткому сообщению трудно судить о принципах, положенных в основу этой машины, однако некоторые детали ее устройства сходны с классификационной машиной Аттли. В частности, ассоциирующие ячейки «Персептрона» (клетки памяти) соединены случайно, т. е. с некоторой вероятностью можно утверждать, что данная клетка соединена с другой. То же наблюдается в машине Аттли. «Персептрон», так же как и машина Аттли, способен к обучению.

В последней главе этой книги описан автомат также способный к обучению и различению временных изображений. Принципы, на основе которых он построен, несколько отличаются от принципов машин Аттли и Розенблата.

В интересной работе Эшби (61) рассматривается вопрос о создании усилителя мыслительных способностей. Эшби показывает, что мыслительные способности сводятся к надлежащему отбору из множества вариантов нужных. Оказывается, можно построить машину, имеющую способность к отбору, однако время решения очень велико. Эшби указывает способы уменьшить продолжительность проб.

В основу усилителя мыслительных способностей положен гомеостат.

Большой интерес привлекает к себе проблема образования понятий автоматами. Этому вопросу посвящена работа Маккея «Проблема образования понятий автоматами» (42).

Маккей показывает два направления, в которых можно искать решение. Он считает, что можно построить автомат, образующий абстрактные понятия. Такой автомат должен все время вырабатывать пробные организующие программы, которые сравниваются с сигналами внешней среды. Чтобы образовалось абстрактное понятие, нужна иерархия таких систем, причем в каждой образуется понятие более высокого порядка абстракции.

В этом смысле интересна работа английских ученых T. Kilburn, R. Z. Grimdale и F. H. Sumner «Эксперименты на машине, думающей и обучающейся», которые проводили опыты на универсальной цифровой машине. Они закладывали в машину специальную начальную программу, а машина, работая, создавала новые программы все более и более сложные. Был введен критерий оценки полезности программ и машина отбирала полезные программы.

Сейчас всю работу программирования делает человек, но, возможно, что удастся использовать машины и для составления программ.

В работах Э. Ф. Мура (46) рассматриваются приемы исследования, при помощи которых экспериментатор, не зная внутреннего строения автомата, может составить представления о принципах его работы, сделать выводы о тождественности и различии разных автоматов, о его внутреннем состоянии в данный момент времени. Эти способы исследования основаны на строго продуманной системе воздействия, осуществляемых экспериментатором на автомат в ходе опыта, и на специальных методах рассмотрения системы тех ответов, которыми отвечает автомат на эти воздействия. Предлагаемое рассмотрение представляет интерес для изучения работы головного мозга, изучение которого основано также на осуществлении серии специально продуманных воздействий.

Большое значение имеет также созданная Дж. Нейманом (51) система представлений о путях синтеза надежных автоматов из ненадежных «компонент» (элементов). При сравнении работы головного мозга с работой кибернетических машин было выявлено существенное отличие, которое заключалось в том, что в машинах поломка одного элемента (например, радиолампы) приводит к нарушению работы всей системы.

В нервной же системе удаление или повреждение даже большого числа нервных клеток не приводит обычно к необратимым нарушениям в работе головного мозга. На основании этих фактов Дж. Нейман (51) пришел к выводу о том, что в головном мозгу имеется особая система организации нервных сетей, которая обладает особым важным свойством устойчивости к нарушениям, связанным с тем, что выключение одного элемента не приводит к нарушению работы всей системы. Каждая нервная клетка является «ненадежным» элементом, то есть таким элементом, который может перестать работать. Вся же нервная сеть в целом работает как вполне «надежная» система.

Дж. Нейман попытался выяснить те принципы организации и работы систем, которые могут лежать в основе этого явления и разработать теорию, которая позволила бы создавать вполне надежные машины из ненадежных элементов. Работа таких машин не прекращалась бы при выключении от-

3*

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

дельных их элементов. На основании проведенных исследований была создана система представлений, которая рассматривает теорию этого вопроса. Была разработана принципиальная схема машины, которая, будучи составлена из «ненадежных» элементов, должна была бы работать, как вполне надежная система, то есть обладала бы такими свойствами, которыми обладает головной мозг.

Таковы основные направления работы в кибернетике в настоящее время. Как мы видим, часть этих работ связана с изучением головного мозга, его функций и строения. Другая часть работ связана с синтезом автоматов, моделирующих функции головного мозга.

Конечно, математические методы и моделирование сами по себе не могут решить проблемы изучения работы головного мозга.

Однако одни физиологические методы также не разрешат этой проблемы.

Поэтому ученые различных специальностей—математики и физиологи, нейрофизиологи и инженеры—должны работать вместе, чтобы успешно решить проблемы, возникающие при изучении головного мозга.

FOR OFFICIAL USE ONLY

ГЛАВА III

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, РАБОТАЮЩИЕ ПО ЖЕСТКОЙ ПРОГРАММЕ

Мы начнем наше изложение с рассмотрения принципов работы систем, способных к осуществлению очень сложных форм целесообразного поведения с заранее фиксированной программой. Такие системы не способны к самостоятельной выработке новых форм поведения, к процессу обучения.

Примером функционирования систем такого типа может служить в известной степени поведение паука, строящего сложную конструкцию из нитей в виде паутины; сложные поведения муравьев или пчел. Можно указать также в качестве примера на поведение жука-навозника, который строит специальный кокон, в котором будут развиваться его личинки. Это поведение как бы предусматривает те потребности, которые будут испытывать в будущем после своего рождения новые особи, и обеспечивает условия для удовлетворения этих потребностей.

У насекомых возможна также выработка и условных рефлексов.

Сложные формы поведения осуществляют также машины, управляющие работой промышленных предприятий и обеспечивающие выпуск той или иной продукции.

В первом случае последовательность действий совершенных насекомыми (программа работы) определяется наследственно закрепленной формой организации его нервной системы, выработавшейся в процессе эволюции. В случае работы машины программа работы предусматривается конструктором автомата. В обоих случаях поведение системы может быть очень сложным. Например, постройка паутины или муравейника должно предусматривать возможность последовательного перехода от осуществления одной операции, связанной с одной формой деятельности, к другой. Только после завершения одной фазы работы система может переходить к следующей.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Характер движений насекомого должен сложным образом определяться результатом предыдущих действий, стадий, в которой находится работа (например, постройка муравейника). Поведение животных на каждом его этапе зависит от всего сложного комплекса поступающих из внешней среды раздражителей.

Важно отметить, что при осуществлении сложных форм поведения оказывается возможным изменение программы действий животного в зависимости от результатов предыдущего действия и переключение с одной программы действий на другую.

В этом отношении большой интерес представляют опыты, проведенные известным польским ученым Я. К. Дембофским (27). Было, например, показано, что удаление у жука плавуна плавательных ножек сразу приводит к включению другой системы действий, позволяющей насекомому передвигаться другим способом.

Возможность переключения поведения с одной программы на другую объясняет те поразительные результаты, которых достигают насекомые, например, в постройке муравейника или паутины в условиях постоянного изменения температуры, направления ветра, влажности, изменения качества строительных материалов (в случае строительства муравейника) и других факторов. Ведь форма паутины оказывается каждый раз точно приспособленной к рельефу местности, а в случае нарушения целостности паутины или муравейника осуществляемые насекомыми действия строго соответствуют характеру причиненных повреждений.

Описываемые сложные формы поведения носят в основном врожденный характер. Хотя в самой структуре поведения могут быть предусмотрены варианты, позволяющие переходить в определенных условиях с одной программы на другую, но все эти варианты строго предопределены и количество их ограничено.

Введение в ходе эксперимента в работу системы каких-либо нарушений, которые не могли бы иметь места в естественных условиях жизни животного, а, следовательно, и не могли быть «предусмотрены» и обеспечены в процессе эволюционного развития, соответствующей программой, приводят к нарушению всего цикла поведения. Об этом свидетельствуют многочисленные и хорошо известные эксперименты, в которых пчелы продолжали закупоривать ячейки сот, несмотря на то, что из этих ячеек был изъят мед и т.д.

Большое значение в осуществлении сложных форм поведения имеет также работа желез внутренней секреции. Было доказано, например, что осуществление сложных форм поведения, связанного с размножением, тесно связано с наличием в крови гормона половых желез.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Следует отметить, что конструкция машин, управляющих работой промышленного предприятия также предусматривает обычно возможность изменения программы и переключения работы системы с одной программы на другую в зависимости от результатов предшествующей деятельности и суммы внешних воздействий.

а) Рефлекторный принцип в работе систем управления

Характерной особенностью систем этого типа является то, что они работают согласно общему принципу, который может быть обозначен, как принцип «рефлекторной реакции».

Сущность этого принципа заключается в том, что поведение системы представляет собой серию ответов на определенные сигналы, поступающие из внешней среды. Общая схема работы системы этого типа может быть охарактеризована следующим образом. На систему действует определенный сигнал, в ответ на этот сигнал система переходит в состояние K_1 и производит действие σ_1 . В результате этого действия во внешней среде появляются определенные изменения. Информация об этих изменениях поступает в систему в виде сигнала a_2 . Сигнал a_2 вызывает изменения состояния системы из K_1 в K_2 и появление нового движения b_2 , которое в свою очередь вызывает появление информации a_3 и так далее.

Такой характер поведения системы управления определяется тем, что ее работа протекает в тесном взаимодействии с окружающей систему внешней средой или [используя терминологию Маккея (42)] «адаптивным полем деятельности системы». При этом поведение системы, направленное на изменение внешней среды в нужную сторону, должно все время корректироваться путем поступления и переработки информации, отражающей результаты работы системы на различных этапах. Таким образом в ходе осуществления сложной формы поведения происходит сложный процесс взаимодействия двух систем — головного мозга и внешней среды.

В случае работы машины сложная система взаимодействия разыгрывается между системой управления и управляемым объектом. Подробно эта проблема разобрана в специальной работе И. И. Гальперина (25). Вопрос о принципах работы автоматов освещен также в работах С. К. Клини (30), Дж. Т. Калбертсона (29), Д. М. Маккея (12) и др. авторов.

Принцип рефлекторной реакции был впервые введен в науку Декартом для объяснения поведения животных. При этом Декартом была использована аналогия между работой живых организмов и устройством водяных часов, фонтанов и других распространенных в XVII веке механических приспособлений.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Научное изучение сложных форм поведения животных стало возможным на основании материалистического учения И. М. Сеченова (56) и И. П. Павлова (54).

Согласно основным положениям этого учения, деятельность головного мозга оказывается полностью детерминированной условиями внешней среды. Работа головного мозга представляет собой систему рефлекторных ответов на сложный комплекс раздражителей, поступающих из внешней среды. При этом различается несколько видов рефлекторной деятельности:

а) условнорефлекторная деятельность, которая формируется у человека и животного в процессе его жизни, и в основе которой лежит выработка системы условных рефлексов (процесс обучения) и

б) безусловно-рефлекторная деятельность, которая возникает у животного с момента его рождения.

Врожденная безусловно-рефлекторная форма поведения свойственна человеку и животным, стоящим на различных ступенях эволюционной лестницы. Однако, у низших животных (особенно у насекомых) эти формы деятельности нервной системы получают широкое развитие и определяют по существу поведение животных.

По принципу сложных систем безусловных рефлексов осуществляется также регуляция деятельности внутренних органов. При воздействии на организм определенных раздражителей наблюдается сложнейшая картина перераспределения характера протекания различных процессов в организме. Например, при действии болевого раздражителя поднимается уровень кровяного давления, увеличивается свертываемость крови, увеличивается содержание сахара в крови, затормаживается деятельность пищеварительных желез и так далее.

Большое значение имеет работа механизмов, поддерживающих постоянство протекания некоторых жизненно важных для организма функций в различных условиях (постоянство концентрации сахара в крови, постоянство уровня кровяного давления и т. д.).

При изучении этих сложных процессов исследователи сталкиваются с фактами, когда та или иная реакция организма зависит от всей совокупности воздействующих интерорецептивных и экстероцептивных сигналов и представляет собой целостный ответ на этот комплекс раздражителей.

При изучении закономерностей, лежащих в основе функционирования систем этого типа в плане теоретической кибернетики, встает целый ряд актуальных вопросов. Возникает проблема изучения механизмов, способных обеспечить осуществление сложных форм поведения системы. Большое значение имеет вопрос о принципах, делающих возможным переключение системы с одной программы работы на другую:

FOR OFFICIAL USE ONLY

вопрос о работе систем, способных осуществлять реакции на сложные комплексы сигналов.

При рассмотрении этих вопросов представляет интерес работа Калбертсона (29), разобранный в гл. II. Деятельность полного робота может быть очень сложной, и в то же время она определена полностью системой «безусловных рефлексов» (программой).

Еще раз подчеркнем, что разработка новых программ работы невозможна для системы, организованной таким образом.

FOR OFFICIAL USE ONLY

ГЛАВА IV

СИСТЕМЫ, СПОСОБНЫЕ САМОСТОЯТЕЛЬНО РАЗРАБАТЫВАТЬ НОВЫЕ ПРОГРАММЫ СВОЕЙ РАБОТЫ

Одной из важных проблем кибернетики является проблема изучения так называемых «самоорганизующихся» систем управления, способных самостоятельно разрабатывать новые программы своей работы. Такой системе должны быть даны только основные цели ее деятельности. Она должна обладать способностью сама в процессе своей работы находить оптимальный способ решения поставленной перед ней новой задачи. При этом «способ решения» может представлять собой весьма сложную последовательность действий (приказов), совершаемых в ответ на появление определенных внешних сигналов (сложные программы работы). В понятие же «цели работы» могут включаться дополнительные условия, связанные с необходимостью избегать каких-то определенных состояний и ситуаций, которые могут привести к авариям. В процессе разработки программы своей деятельности может оказаться необходимым постановка новых промежуточных целей. В целом процесс оказывается очень сложным.

При изучении этой проблемы решающее значение приобретает анализ принципов работы головного мозга.

Одной из основных особенностей работы головного мозга является способность к формированию новых форм поведения.

При возникновении новой ситуации у животного через некоторое время возникают такие новые формы поведения, которые обеспечивают удовлетворение его потребностей.

Научный анализ этих способностей головного мозга был дан в работах И. П. Павлова (54) и его учеников (2, 4, 19, 21, 37). Была создана теория, которая объясняет некоторые сложные формы работы головного мозга. Основным положением этой теории является утверждение, что в основе тех новых сложных форм поведения, которые возникают в процессе жизни животных, лежит формирование сложных систем условных рефлексов.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Для изучения этого явления был применен метод, связанный с помещением животного в специальную камеру.

Основная идея заключалась в том, что животное изолировалось от естественной внешней среды и в то же время оказывалось возможным применять различные воздействия в виде различных комплексов сигналов.

Этот метод позволял выявлять основные закономерности, характеризующие выработку новых форм поведения (новых систем условных рефлексов).

Основные положения созданного И. П. Павловым и его школой учения о работе коры больших полушарий головного мозга широко известны (54, 2, 5, 19, 20, 21, 37). В связи с этим мы не будем подробно останавливаться на этом вопросе.

Исследования в этом направлении, проведенные П. К. Анохиным, привели к созданию представлений об «акцепторе действия» и «обратной афферентации» (2, 3, 5).

Согласно этим представлениям простая схема рефлекторной дуги должна быть дополнена важным компонентом. Этот компонент связан с тем, что после осуществления условно-рефлекторной реакции животное должно получить информацию о результатах своего действия. При этом эта информация должна быть сопоставлена с каким-то заранее создавшимся в головном мозгу критерием, который бы мог позволить оценить успешность или неуспешность произведенного действия. В зависимости от результатов оценки животное должно или еще раз повторить это действие (в случае отрицательной оценки) или перейти к новому действию.

Представление П. К. Анохина дополняет созданное до него представление о механизме замыкания рефлекторной дуги, что обеспечивает рассмотрение системы рефлексов, как единого комплекса, в котором осуществление одного звена условного рефлекса создает предпосылки для перехода к следующему.

Большое значение в изучении этой проблемы имело учение И. П. Павлова (54) о системности в работе коры больших полушарий. Оно преодолевает односторонность генштабт психологии и бихевиоризма и создает основу для материалистического изучения сложных форм работы головного мозга.

Интересные исследования в этом направлении были осуществлены в лабораториях П. С. Купалова, Л. Г. Вороница, С. Н. Брайнеса.

В работах, осуществленных Л. Г. Ворониным (21), П. С. Купаловым (37), С. Н. Брайнесом (14, 12), Н. А. Рокотовой (55), А. В. Напалковым (49, 14), К. А. Норданисом (14), И. А. Алексеевой (1) и другими были изучены закономерности выработки сложных систем условных рефлексов у животных

FOR OFFICIAL USE ONLY

разных видов, а также те сложные явления и закономерности, которые проявляются при изучении систем условных рефлексов.

В настоящее время некоторые ученые предлагают более четко разграничить понятие «классического слюнного условного рефлекса», данного И. П. Павловым, от понятия сложных систем двигательных рефлексов, как более сложного явления лежащего в поведении животных.

Для такого разграничения, как нам кажется, нет оснований, так как И. П. Павлов понимал «условный рефлекс» в широком смысле. Он неоднократно подчеркивал сложный «системный» характер деятельности коры больших полушарий.

Вместе с тем нам кажется необходимым подчеркнуть, что современное развитие науки и, в частности, разработка теории самоорганизующихся систем управления ставит ряд новых вопросов и требует в ряде случаев как более широкого теоретического рассмотрения проблемы, так и разработку новых приемов исследования.

Изучение закономерностей выработки той или иной системы условных рефлексов в условиях эксперимента часто не решает еще вопроса о возможности и о путях формирования этой системы в естественных условиях жизни животных. В ходе выработки цепи рефлексов экспериментатор не осуществляет целый ряд искусственных воздействий: он в определенные моменты времени, в определенной последовательности включает различные сигналы, в нужный ему момент времени провоцирует те или иные движения и так далее. Эти воздействия могут отсутствовать в реальных условиях жизни животного.

Изучение закономерностей формирования сложных систем рефлексов сформировалось в определенное направление науки, имеющее специфические методы и задачи исследования. С точки зрения задач этого направления науки применение таких методов исследования, которые облегчают выработку систем рефлексов, является необходимым и вполне оправданным.

Однако, при разработке более широкой теоретической проблемы изучения работы самоорганизующихся систем управления оказывается необходимым строго учитывать любое воздействие, которое оказывает экспериментатор в ходе опыта. Приходится также учитывать влияние движений животного на внешнюю среду и наличие во внешней среде определенной системы связей между явлениями, которые определяют появление новых сигналов. В целом возникает новая проблема изучения сложной картины взаимодействия между двумя взаимосвязанными друг с другом и взаимовлияющими друг на друга системами — внешней средой и организмом. Эта проблема собственно уже не относится к области физи-

FOR OFFICIAL USE ONLY

логии и является одной из важных составных частей нейрокибернетики. Вместе с тем разработка этой проблемы имеет существенное значение для изучения работы головного мозга. Эта проблема тесно связана с изучением других вопросов нейрокибернетики, в частности, с изучением закономерностей переработки внешней информации в процессе формирования новых систем условных рефлексов, с вопросом о выявлении соответствующих алгоритмов, с проблемой отбора «полезной» информации из всего потока информации, поступающей в головной мозг и рядом других проблем.

а) Взаимодействие двух систем (головной мозг и внешняя среда)

Формирование новой цепи условных рефлексов осуществляется за счет переработки информации, которая поступает из внешней среды в виде сложных комплексов раздражителей, действующих на органы чувств. Однако, поступление информации в головной мозг находится также в зависимости от двигательных реакций, которые животные производят в процессе формирования цепи рефлексов.

Всякое движение, направленное на изменение внешней среды, приводит к поступлению в головной мозг нового потока информации.

В ряде случаев получение некоторой важной информации вообще оказывается невозможным без активного воздействия организма на окружающую его внешнюю среду. Например, хорошо известно, что пламя может быть получено при трении спички о коробок. Однако, информация о возможности получения огня может быть получена только в результате активного движения человека, связанного с осуществлением зажигания спички.

Следует подчеркнуть, что если бы животные осуществляли все те движения, которые они могут осуществлять в силу особенностей своей физической организации и запоминали бы ту информацию, которая поступает при этом из внешней среды, то формирование новой формы целесообразного поведения оказалось бы очевидно невозможным потому, что головной мозг оказался бы перегруженным очень большим количеством ненужной информации.

Важнейшей особенностью работы головного мозга является способность к селективному (выборочному) восприятию и запоминанию только той информации, которая нужна для удовлетворения определенных потребностей.

Другой важной особенностью головного мозга является то, что при формировании новых форм поведения животные не делают всех возможных движений, а осуществляют двига-

FOR OFFICIAL USE ONLY

тельные реакции в определенной оптимальной последовательности (по определенным правилам), которые приводят к получению максимального количества «полезной» информации при минимальном количестве пробных движений.

При этом характер производимых новых пробных движений сложным образом зависит от характера поступающей в головной мозг информации, вызванной предыдущими движениями.

Таким образом возникает сложная картина взаимодействия между внешней средой и организмом.

Говоря о внешней среде, окружающей животное, мы хотим внести некоторое уточнение. Обычно головной мозг вступает во взаимодействие не со всей «внешней средой», а только с определенной ее частью. В связи с этим удобнее говорить не о внешней среде, а об определенном «поле деятельности» (42), ограничивая таким образом область деятельности головного мозга.

Сходная система взаимоотношений наблюдается при работе машины, управляющей работой промышленного предприятия. Процесс управления в этом случае предполагает наличие взаимодействий двух взаимосвязанных между собой систем — управляющей системы и управляемого ею объекта (поле деятельности системы).

Процесс управления заключается в том, что управляющая система оказывает определенное воздействие на управляемый объект, в результате чего возникают различного рода изменения. Информация об этих изменениях, поступающая в систему управления, и является той основой, на которой самоорганизующая система управления может выработать новый оптимальный режим своей деятельности.

В связи с этим нам кажется целесообразным рассмотреть проблему в общей форме в плане изучения взаимодействия двух систем, одна из которых (головной мозг, система управления) в ходе своей деятельности перерабатывает поступившую извне информацию и на основе этой информации составляет программу своей работы (систему условных рефлексов). Другая система может быть обозначена как управляемая система или, выражаясь при помощи других терминов, может быть обозначена как «адаптивное поле деятельности» системы управления (внешняя среда).

Допустим, что некая система управления может осуществлять действия $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ и воспринимает раздражители (информацию), поступающие от объекта управления в виде сигналов $a_1, a_2, a_3, \dots, a_m$.

Система управления (головной мозг) имеет определенную задачу в своей деятельности. Эта задача может быть в общей форме выражена в том, что система должна при помощи опре-

FOR OFFICIAL USE ONLY

деленных последовательных действий получить некоторое необходимое состояние управляемого объекта (внешней среды) «к».

Допустим, что во внешней среде имеется определенная возможность путем системы определенных воздействий добиться получения «к». Эта возможность может быть выражена, например, следующей схемой: $a_{11}-b_1-a_8-b_{18}-a_3-b_6-a_{37}-b_1-k$.

Это означает, что для того, чтобы во внешней среде (управляемой системе) возникло состояние «к», необходимо осуществление целого ряда последовательных действий:

$b_1-b_{18}-b_6$ и т. п.

При этом каждое из этих действий должно быть совершено в ответ на появление определенного раздражителя

$a_{11} \quad a_8 \quad a_3$ и т. п.

Сама эта возможность определяется той системой закономерностей, которая существует во внешней среде, а также и характером тех действий, которые может производить животное.

Нам кажется важным подчеркнуть, что эта возможность существует объективно и что процесс выработки новой программы работы может свестись к отысканию этой системы закономерностей.

Разработка новой программы работы в этих условиях осуществляется в результате воздействия системы управления на внешнюю среду (объект управления) и переработки возникающей при этом информации. В простейшем случае система управления будет производить по порядку все возможные действия (полный перебор). Приведем анализ возможных результатов использования этого принципа деятельности: допустим, что система управления начинает совершать последовательно все возможные действия b_1, b_2, b_3, b_4 или b_5, b_6 и т. д.

В результате этих действий в управляемом объекте (внешней среде) возникают определенные изменения. Информация об этих изменениях попадает в систему управления в виде сигналов a_1, a_2, a_3 или комплексов сигналов, например, $a_3, a_1, a_5, a_8, a_6, a_3$.

На основании переработки этой информации должна возникнуть новая программа работы, приводящая к получению цели «к» (пищи и воды). При анализе этого процесса следует учитывать, что кроме отдельных реакций система должна будет испытать варианты различных цепей рефлексов, например: $a-b_1-a_8-b_8$ или $a_5-b_7-a_6-b_4$ и так далее.

При этом оценка правильности той или иной цепи станет возможной только после появления во внешней среде явления «к» (достижение цели), т. е. только после того, как система управления (головной мозг) после длительного испробования различных возможных вариантов поведения случайно осуществит

FOR OFFICIAL USE ONLY

вит правильную последовательность действий $a_{11}, b_4, a_8, b_{18}, a_3, b_6, a_{37}, b_1$ — к. Теоретически возможное количество вариантов, которое система управления должна испытать прежде чем она случайно наткнется на нужный вариант, может быть подсчитано. Проблема заключается в выборе из очень большого количества возможных вариантов одного — единственно верного варианта. Подобная проблема была разобрана в специальной статье Эшби (61). Он приходит к выводу, что полный перебор всех возможных вариантов потребовал бы астрономических цифр затраченного времени и практически оказался бы невозможным. Для изучения этой проблемы была создана специальная модель гомеостата, которая осуществляла самонастройку путем полного перебора вариантов.

В работе Эшби (61) указаны некоторые пути, которые могут привести к сокращению времени выбора нужного варианта. Одним из важных факторов, который обеспечивает сокращение времени выбора, является наличие определенных закономерностей в окружающей внешней среде. В результате наличия закономерностей в ответ на осуществление какого-либо действия a_1 может возникнуть не любой из раздражителей (a_1, a_2, a_3), а лишь строго определенные сигналы. Это сокращает сроки перебора вариантов. Важное значение имеет то обстоятельство, что в результате существования системы внешних закономерностей, а также в результате постоянных процессов движения и превращения, которые характеризуют внешний объективный мир в окружающей человека и животное среде все время с той или иной степенью вероятности возникают различные сигналы, в том числе и входящие в цепь рефлексов a_4, a_8, a_6 и т. д.

Степень вероятности появления этих сигналов зависит от степени организованности внешней среды от способности животного осуществить разные движения и от других факторов. Появление во внешней среде различных сигналов может иметь большое значение. При помощи специальных приемов, используемых животным, на основании этого явления может быть достигнуто резкое сокращение числа производимых проб.

Таким образом мы приходим к важному для нас выводу о том, что для рассмотрения проблемы самоорганизующихся систем управления решающее значение имеет не только изучение работы головного мозга, но и рассмотрение основных форм взаимодействия организма с окружающей его внешней средой.

Согласно основным положениям диалектического материализма во внешней среде объективно существуют сложнейшие системы причинно-следственных взаимоотношений между отдельными ее элементами. Это положение оказывается важным при рассмотрении той системы взаимоотношений, которая возникает между организмом и внешней средой в процессе выработки новых цепей условных рефлексов. В результате существования сложной системы взаимоотношений во внешней среде,

движения, которые осуществляют животные, могут вызвать целую цепь взаимно связанных друг с другом процессов, что приводит к поступлению в головной мозг большого количества разнообразной новой информации.

Чем больше степень «организации» внешней среды, чем больше во внешней среде присутствует причинно-следственных закономерностей, тем большее количество информации получает животное в ответ на производимое им движение.

Следует также учитывать, что внешняя среда находится в непрерывном изменении и движении. Это положение оказывается важным, так как из него следует вывод, что животное может получить некоторую информацию о взаимосвязях, существующих во внешней среде и не производя активных действий. Приведенное рассмотрение указывает на возможность сокращения числа проб. Однако важно подчеркнуть, что сокращение числа проб не может быть достигнуто автоматически, для этого оказывается необходимым использование специальных «приемов», связанных, как с определенной последовательностью производимых животным движений, так и с использованием определенных принципов в отборе поступающей извне информации. Возникает вопрос о какой-то определенной рациональной организации в последовательности и характере тех воздействий (проб), которые самоорганизующаяся система оказывает на управляемый объект в период «самообучения».

Большое значение приобретает вопрос о критериях оценки полезности тех или иных двигательных реакций.

Наряду с этим возникает проблема создания определенной системы оценки отбора и фиксации в памяти из всей информации, поступающей от управляемого объекта, только той информации, которая может оказаться полезной для достижения заранее заданного системе результата ее работы «K».

Для решения этой проблемы важное значение могло бы, видимо, иметь появление в ходе процесса «самообучения» таких промежуточных ориентиров, которые позволили бы оценивать полезность тех или иных движений и важность той или иной поступающей в головной мозг информации.

Таким образом встает задача отыскания какой-то неизвестной последовательности в операциях системы управления, которая позволила бы ей быстро и точно вырабатывать новые программы работы (новые цепи рефлексов), не совершая полного перебора всех вариантов. Эти операции должны, видимо, включать как определенные правила в осуществлении воздействий на управляемый объект, так и определенные правила в оценке и переработке поступающей извне информации. При этом каждое последующее действие должно, очевидно, сложным образом определяться результатом предыдущих.

Как на это справедливо указывает А. А. Ляпунов (40) в данном случае речь идет о проблеме отыскания алгоритмов

FOR OFFICIAL USE ONLY

работы самоорганизующихся систем управления. При этом стоит вопрос об изучении алгоритмов «высшей категории», об алгоритмах, на основе которых могут вырабатываться новые разнообразные программы работы (цепи рефлексов). Иначе говоря, об алгоритмах, которые дают возможность системе управления самой находить новые разнообразные алгоритмы переработки информации, необходимые в тех или иных новых условиях работы кибернетической системы.

Эта проблема актуальна также для случая, когда система управления, уже имеющая определенную программу, должна учитывать свои «ошибки» и находить пути для их устранения.

Головной мозг обладает такими алгоритмами. Они возникли в процессе эволюции в результате естественного отбора.

При изучении алгоритмов работы головного мозга важно учитывать, что часто системе управления оказывается необходимым вырабатывать не только программы работы в виде цепи различных действий, но и гораздо более сложные программы. Например, при работе химического предприятия может случиться, что наличие какого-нибудь вещества будет тормозить всю систему химических реакций. Самоорганизующаяся система управления должна иметь возможность выявить это вещество и затем найти пути для его устранения.

Вторым общим случаем работы системы управления может являться случай, когда для осуществления той или иной стадии процесса нужны два независимые компонента. Например, в случае работы химического предприятия на определенной стадии процесса может оказаться необходимым одновременное наличие двух веществ (А и В). Самоорганизующаяся система управления должна иметь возможность: а) выявить, какие именно вещества необходимы, б) разработать способ получения вещества А, в) затем разработать способ получения вещества В, г) лишь после этого она сможет провести полную разработку оптимального режима работы предприятия.

Говоря об этих более сложных случаях работы системы управления, мы должны отметить, что с подобными же формами выработки программ работы сталкивается и физиолог при изучении работы головного мозга и что изучение этих форм работы ставит вопрос об отыскании более сложных алгоритмов переработки информации в головном мозгу.

Приведенная форма рассмотрения является необычной для физиологов. Часто делаются возражения против использования термина алгоритм, который ранее не применялся при рассмотрении проблем выработки цепей условных рефлексов.

Нам кажется, в связи с этим, важным подчеркнуть, что проблемы и методы исследований нейрокибернетики не совпадают с проблемами и методами изучения высшей нервной дея-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

тельности. В связи с этим оказывается необходимым и перспективным использование понятий и терминов, принятых в этой области науки.

б) Методические приемы изучения алгоритмов переработки информации в головном мозгу

Для изучения поставленных выше вопросов оказывается необходимой разработка некоторых специальных приемов исследования, позволяющих подойти к изучению сложной картины взаимодействия различных систем. Эти методические приемы должны обеспечивать не только научный анализ работы головного мозга, но и анализ изменений внешней среды. Поэтому оказывается необходимым в ходе эксперимента воспроизводить взаимодействие двух систем. При проведении этих исследований возможно использование нескольких методических приемов. В одном из вариантов роль внешней среды может выполнить экспериментатор, который на листе бумаги перед опытом записывает определенную систему «внешних закономерностей». В дальнейшем в ходе опыта согласно этой схеме в зависимости от движений животного он должен включать те или иные сигналы. При этом может быть предусмотрена также возможность случайного (не зависящего от движений животного) появления различных внешних сигналов и установлена определенная степень вероятности их появления. Например, экспериментатор помимо осуществления других правил включает 5 раз в минуту различные сигналы. Вместо экспериментатора при проведении опытов может быть использован автомат, программа работы которого реализует необходимые закономерности. На этом первом этапе исследования могут быть выявлены определенные алгоритмы работы головного мозга.

Второй этап исследования связан с дальнейшим анализом этих алгоритмов. Он предполагает создание автомата, в котором должны быть реализованы выявленные в опытах на животных алгоритмы. При изучении работы автомата должна быть поставлена общая цель выяснить действительно ли данные алгоритмы могут обеспечить выработку новых программ работы системы. В том случае, если автомат оказался бы способным самостоятельно формировать новые программы своей работы, это явилось бы указанием на правильность сделанных выводов. В противном случае исследование работы автомата позволило бы выявить, в чем именно заключается недостаточность наших представлений об алгоритмах работы головного мозга и позволило бы наметить направление новых экспериментов на животных. Таким образом, процесс исследования этой проблемы, по нашему мнению, должен включать не-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

В этой схеме видно, что для того, чтобы после движения b_3 возник раздражитель a_6 было необходимо наличие двух независимых друг от друга сигналов Π и P ; с другой стороны, имелась система закономерностей, которые могли обеспечить появление сигналов P и Π ($a_1-b_1-a_2-b_2-\Pi$ и $a_3-b_3-a_4-b_4-P$).

Кроме системы жестких закономерностей в ходе эксперимента могла быть предусмотрена также возможность случайного появления тех или иных сигналов ($a_1-a_2-a_3$ и др.), причем степень вероятности появления тех или иных сигналов могла быть установлена экспериментатором в начале опыта. В ходе наших экспериментов мы создавали для животных искусственную внешнюю среду, находящуюся под контролем экспериментатора.

Эта внешняя среда могла быть преобразована и реконструирована согласно его желанию.

При помещении голодных животных в эти условия мы наблюдали, что через некоторое время животное в результате осуществления определенной последовательности движений и использования определенных форм переработки внешней информации, «отгадывало» объективно созданную и «неизвестную» им систему внешних закономерностей, позволяющую им получить пищу. На этой основе вырабатывалась новая система условных рефлексов (новая программа работы), позволяющая в минимально короткое время получить пищевое подкрепление.

При проведении этих опытов экспериментатор точно знал как характер внешних закономерностей, так и характер возникающей новой системы условных рефлексов. Он мог наблюдать за появлением различных движений и регистрировать возникновение или отсутствие рефлекторных реакций на различные условные раздражители. Применяя различные формы эксперимента, связанные с созданием различных условий внешней среды, экспериментатор получил, таким образом, возможность изучить ту систему правил, согласно которой осуществлялись движения животного, а также выявить используемые животным формы переработки поступающей извне информации. Таким образом оказывается возможным изучить алгоритмы, используемые головным мозгом при выработке новых форм поведения (новых программ работы головного мозга) в новой ситуации.

Вторым этапом исследования являлось создание кибернетической радиоэлектронной системы (обучающийся автомат) см. VI главу наст. работы. В этой машине были реализованы основные алгоритмы, вскрытые в опытах на животных, лежащие в основе формирования цепи условных рефлексов. При создании автомата была поставлена цель выяснить действи-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

тельно ли эти алгоритмы могут обеспечить работу самоорганизующейся системы, изучить процесс выработки новых цепей условных рефлексов в различных условиях, количество необходимых проб. На основании результатов этого исследования были поставлены затем новые физиологические эксперименты.

в) Закономерности переработки информации, лежащие в основе формирования простой цепи рефлексов

Были выявлены различные алгоритмы, каждый из которых оказывался оптимальным в определенных условиях и неприменимым в других условиях. Эти алгоритмы довольно сложны и мы приведем пока только несколько наиболее простых примеров.

Приводим алгоритмы, проявляющиеся при выработке простой цепи рефлексов (алгоритм № 1)

$a_1 - b_1 - a_2 - b_2 - a_3 - b_3 - a_4 - b_4$ — пища;

где:

$a_1, a_2 \dots a_n$ — раздражители;

$b_1, b_2 \dots b_m$ — различные движения.

1. Животное производит различные случайные движения ($b_1, b_2 \dots b_m$) и воспринимает возникающую при этом информацию ($a_1, a_2 \dots a_n$).

2. Если после какого-либо из движений (b_1) оно несколько раз получит пищу (это движение несколько раз совпадает по времени с получением пищи), то: а) резко уменьшается количество случайных движений, б) животное начинает очень часто производить движение b_1 .

3. Если движение b_1 всегда совпадает с получением пищи, то никаких дальнейших изменений не наблюдается.

4. Если движение b_1 не приводит к получению пищи или не всегда приводит к получению пищи, то животное начинает воспринимать внешнюю информацию ($a_1; a_2 \dots a_n$). Если какой-нибудь раздражитель (a_1) несколько раз совпадает по времени с движением b_1 и получением пищи, и если без сигнала a_1 животное не получает пищи, то: а) движение b_1 начинает осуществляться только в ответ на сигнал a_1 ; б) животное прекращает принимать внешние раздражители.

5. В том случае, если сигнал a_1 появляется часто и совпадает с пищей, дальнейших изменений не наблюдается.

6. В том случае, если a_1 (условный раздражитель) не появлялся в течение длительного времени или он не подкреплялся, вновь возникают случайные движения и начинают восприниматься возникающая в результате этих движений информация.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

7. Если одно из случайных движений (например b_3) несколько раз совпадает по времени с раздражителем a_1 (условным сигналом), то оно запоминается: а) резко сокращается число случайных движений (b_1, b_2, \dots, b_m); б) животное начинает все время производить движение b_3 .

8. Если движение b_3 не всегда совпадает по времени с появлением раздражителя a_1 (подкрепляющего эту реакцию), то животное начинает воспринимать внешние сигналы ($a_1, \dots, a_2, \dots, a_n$) и производить после этих сигналов движения b_3 . Если появление какого-либо сигнала, например, a_3 , несколько раз совпадает по времени с движением b_3 и с появлением сигнала a_1 , а без сигнала a_3 движение b_3 не приводит к появлению сигнала a_1 , то вырабатывается новый условный рефлекс. Животное начинает осуществлять движение b_3 только после включения сигнала a_3 (условного раздражителя).

Таким образом вырабатывается два звена цепи рефлексов.

В дальнейшем эти правила приводят к выработке все новых и новых рефлексов. Новые рефлекс вырабатываются уже на основании совпадения случайных движений с сигналом a_3 или a_1 . Каждый из условных раздражителей может стать «подкреплением» для выработки новых рефлексов.

На основе этих правил животное может последовательно выявлять закономерности внешней среды и вырабатывать на этой основе новые оптимальные программы своей деятельности, приводящей к получению воды, пищи и удовлетворению других потребностей.

Описанный алгоритм обеспечивает определенные критерии оценки полезности осуществляемых системой управления действий, а также полезности и достоверности поступающей в головной мозг информации. Он обеспечивает также возможность отбора и фиксации в памяти полезных движений, а также надежной и полезной информации.

Основным критерием достоверности и полезности при этом служит сначала многократное временное совпадение того или иного нового раздражителя или движения с пищей, а затем, в ходе дальнейшего формирования системы, многократное совпадение новых движений или сигналов с одним из условных раздражителей ранее выработанных звеньев (условных рефлексов) цепи. Этот критерий является вполне надежным, так как наличие многократного совпадения может служить доказательством того, что организм в данном случае имеет дело не со случайным совпадением двух сигналов, а с реальной закономерностью внешнего мира (критерий достоверности). Критерием же полезности информации служит сначала многократное совпадение новых сигналов с пищей, а потом с условным раздражителем, в свою очередь ранее связанным с пищей.

Этот алгоритм обеспечивает также возникновение в ходе процесса «самообучения» новых ориентиров, которые в даль-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

нейшем используются для оценки полезности тех или иных движений, а также важности той или иной информации. Такими ориентирами, как мы уже говорили, могут служить все условные раздражители ранее выработанных систем условных рефлексов (a_1, a_3, a_2 и т. д.). Важно отметить, что число этих раздражителей-ориентиров быстро растет по мере формирования у животных все новых и новых систем рефлексов. Это, в свою очередь, создает предпосылки для более быстрого формирования всех новых и новых систем условных рефлексов. Создается система процессов, самоускоряющихся в процессе своего развития. Теперь при формировании новых форм поведения перебор возможных вариантов ($b_1, b_2, b_3 \dots b_n$) должен будет продолжаться уже не до появления пики, а до появления любого из условных раздражителей, выработанных ранее систем рефлексов (a_1, a_3, a_2). Таким образом получается объяснение одна из характерных особенностей работы головного мозга, как самоорганизующейся системы, которая заключается в том, что по мере обучения быстро прогрессирует также и способность к последующему обучению.

При анализе фактов, обнаруженных при исследовании различных путей формирования систем условных рефлексов, может быть сделан вывод, что алгоритмы, используемые головным мозгом, предусматривают также определенную сумму правил, определяющих порядок и характер осуществления движений. На некоторых этапах выработки животные осуществляли только одно или два определенных движения. В другие периоды возникало большое количество случайных двигательных реакций. Алгоритм включал определенные правила, согласно которым определялся момент возникновения и исчезновения явления перебора вариантов. Определенная сумма правил определяет также зависимость характера новых движений от результатов предыдущего периода «самообучения». Такая организация в последовательности и характере тех воздействий, которые животное оказывает на внешнюю среду, имеет большое значение. Она сокращает количество производимых животным проб.

Общее рассмотрение характеристики данного алгоритма указывает на то, что он видимо в определенных условиях может обеспечить выработку новой программы работы головного мозга.

Однако, это положение нельзя считать доказанным. Вместе с тем остается открытым вопрос о том, в каких условиях этот алгоритм может оказаться эффективным, а также вопрос о скорости формирования новых программ работы, числе необходимых проб, а также зависимости этих показателей от различных условий.

Для изучения этих вопросов был сконструирован специальный автомат. Автомат описан в шестой главе этой книги.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

На основе изучения этого автомата были сделаны выводы, что в определенных условиях выявленные в опытах на животных алгоритмы могут привести к формированию новой программы работы головного мозга.

Одним из основных условий, необходимых для эффективности применения данного алгоритма является условие, заключающееся в том, что во внешней среде должны время от времени появляться различные раздражители, которые могут восприниматься системой управления (a_1, a_2, a_m и т. д.).

Это условие, как мы уже говорили, может быть осуществлено как при работе сложных кибернетических машин, управляющих работой промышленных предприятий, так и при изучении поведения животного в естественных условиях его жизни.

Появление различных раздражителей во внешней среде может быть вызвано протеканием в этой среде различных процессов, в результате чего будут возникать всевозможные изменения. Они могут быть вызваны также движениями животного или действиями кибернетической машины, вызывающими определенные изменения в окружающей ситуации.

Таким образом, описанный алгоритм может быть реально использован как в технических системах управления, лежащих в основе управления работой промышленных предприятий, так и может служить основой выработки новых сложных форм поведения в естественных условиях жизни животных. Эффективность применения этого алгоритма зависит от целого ряда факторов:

- 1) степени вероятности появления во внешней среде тех или иных раздражителей и длительности действия этих раздражителей;
- 2) от скорости реакции, которую осуществляет система управления;
- 3) от общего количества двигательных реакций, которые может осуществлять система управления и от общего количества раздражителей, которые она может воспринимать из внешней среды.

Для того, чтобы дать анализ скорости выработки цепей условных рефлексов в различных условиях, рассмотрим некоторую конкретную ситуацию.

Пусть система управления «А» имеет n различных рецепторов, способных принимать различные раздражители и может производить m различных действий. При этом во внешней среде, окружающей систему управления, различные раздражители могут случайно возникать с определенной степенью вероятности P .

Допустим, что каждый из раздражителей может возникать 10 раз в течение часа и что действие его заканчивается в тече-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

ние десяти секунд. Должна выработаться цепь рефлексов: $a_1-b_1-a_2-b_2-a_3-b_3$ — пища.

Для того, чтобы в этих условиях выработался первый условный рефлекс оказывается необходимым, чтобы раздражитель « a_3 » совпал несколько раз по времени с действием животного « b_3 », что привело бы к получению пищи.

Общее рассмотрение условий работы системы указывает на то, что вероятность такого совпадения сама по себе не очень велика. Таким образом выработка цепи рефлексов будет протекать на первых этапах очень медленно. Однако, важной особенностью описанного алгоритма является то обстоятельство, что по мере формирования новых условных рефлексов процесс выработки будет идти все более и более быстро.

Если у животного уже выработались некоторые условные рефлексы и условными раздражителями этих реакций являются a_1 , a_5 , то для выработки последующей условной рефлекторной реакции не оказывается необходимым совпадение раздражителя a_2 с пищей. Выработка может производиться при совпадении новых раздражителей с сигналом a_5 , с сигналом a_1 и т. д. Таким образом вероятность совпадения, необходимого для выработки новой рефлекторной реакции, в значительной степени возрастает. При этом, чем больше выработано условных рефлексов, тем больше степень вероятности появления совпадения двух раздражителей, приводящих к выработке новых условных рефлексов. Таким образом мы имеем дело с процессом, который все больше и больше ускоряется по мере своего дальнейшего развития. На важность изучения таких процессов указывал У. Росс Эшби (59, 60). Он подчеркивал, что обнаружение процессов этого типа в биологических системах может привести к разрешению ряда важных проблем физиологии.

Наряду с описанным выше алгоритмом были выявлены также некоторые другие алгоритмы, которые также могут играть большую роль при формировании цепи условных рефлексов.

Один из этих алгоритмов может быть описан следующим образом (алгоритм № 2).

При выработке цепи $b_1-a_1-b_2-a_2-b_3$ — пища

1. Животное производит случайные действия ($b_1 \dots b_n$). В случае, если какое-либо движение несколько раз совпадает по времени с получением пищи, например b_3 , то это движение запоминается. После этого наблюдаются следующие изменения в поведении животного: а) случайные движения исчезают; б) животное начинает все время совершать движение b_3 .

2. Если при этом животное каждый раз получает пищу, то никакого дальнейшего изменения поведения животного не наблюдается. Если после совершения движения b_3 животное не получает пищи, то движение b_3 исчезает. Наряду с этим возник-

FOR OFFICIAL USE ONLY

OFFICIAL USE ONLY

кает реакция, связанная с появлением большого количества случайных движений.

3. Если какое-либо из случайных движений b_3, b_4, b_5 и т. д. не приводит ни к какому изменению в окружающей ситуации, то эти движения прекращаются. Если же какое-нибудь движение, например b_2 , приводит к появлению какого-либо совершенно нового (не связанного с пищей) раздражителя (a_2), то возникает ориентировочная реакция. Эта реакция проявляется в том, что прежде всего животное осуществляет ранее исчезнувшее движение b_3 .

4. В том случае, если в результате этого движения возникает пища, то движение b_2 , которое привело к появлению нового раздражителя a_2 , а также и сам раздражитель a_2 запоминаются.

5. После этого наблюдаются следующие изменения в поведении животного: случайные движения исчезают, животное начинает производить все время движение b_2 . Это движение приводит к появлению раздражителя a_2 . Раздражитель a_2 приводит к появлению движения b_3 и к получению пищи.

6. Таким образом оказывается сразу выработанным два звена цепи рефлексов. Одновременно вырабатываются и новые движения и в систему оказываются включенными новые условные раздражители.

7. Если эта цепь рефлексов приводит к пище, то никаких дальнейших изменений не наблюдается. Если она не приводит к пище, то животное начинает производить случайные действия.

8. Если в результате какого-либо движения возникает совершенно новый раздражитель, на этот раздражитель животное осуществляет движение b_2 , которое раньше исчезло у этого животного. По этому принципу может идти дальше формирование сложной цепи условных рефлексов.

Приводим также описание алгоритма работы (алгоритм № 3) основанного на ориентировочно-исследовательской деятельности. Вырабатывается цепь рефлексов: $a_1—b_1—a_2—b_2—$
 $—a_3—b_3—$ пища.

1. Животное совершает случайные движения ($b_1, b_2 \dots b$) и различные варианты комплексов движений ($b_2, b_1, b_3, b_4, b_1, b_{15}, b_1, b_5$ и т. д.).

2. Если в результате этих действий не возникает никаких изменений в окружающей среде, не возникает новых сигналов ($a_1, a_2 \dots a_n$), то испытанные движения уже не повторяются. Через некоторое время двигательная активность вообще исчезает.

3. Если же в результате этих движений возникает какой-либо индифферентный сигнал ($a_1, a_2 \dots a_n$), совершенно новый, не связанный с пищей, то исчезнувшие ранее движения (b_1, b_2, b_3, b_n) возникают вновь.

OFFICIAL USE ONLY

Кроме того, запоминаются те движения, которые привели к появлению нового сигнала.

4. Таким образом формируются цепи рефлексов по принципу новизны до тех пор, пока эта цепь рефлексов случайно не приводит к появлению или пищи или какого-либо из условных раздражителей ранее выработанной пищевой системы рефлексов. Тогда вся выработанная на основе подкрепления новизной система сразу закрепляется.

Этот способ выработки имеет существенные дефекты. У животных обычно вырабатывается не цепь рефлексов $a_1 - b_1 - a_2 - b_2 - a_3 - b_3$ — пища, а цепь рефлексов, включающая очень много лишних компонентов. Например, $a_1 - b_{10} - b_{15} - b_1 - b_2 - a_2 - b_2 - b_4 - a_5 - a_3 - b_4 - b_5$ — пища.

Для приведения этой системы в соответствие с действительностью используется специальный алгоритм.

Животное начинает одно за другим исключать из системы различные движения. Например, оно делает не цепь $a_1 - b_{10} - b_{15} - b_1 - b_2 - a_2 - b_2 - b_4 - a_5 - a_3 - b_4 - b_5$ — пища, а цепь $a_1 - b_{10} - a_2 - b_2 - b_4 - a_5 - a_3 - b_1 - b_3$.

1. Если эта сокращенная цепь подкрепляется пищей, то выпавшее звено ($b_{15} - b_1 - b_6$) больше не восстанавливается.

2. Если пища не дается, то в следующий раз они возникают вновь и выпадает другой элемент цепи. Так последовательно одно за другим испытывается нужность всех элементов системы и постепенно «отсеивается» все лишнее. В конце концов остается только та цепь, которая необходима — $a_1 - b_1 - a_2 - b_2 - a_3 - b_3$ — пища.

Описанный алгоритм № 3, основанный на ориентировочно-исследовательской деятельности, может быть использован в условиях, в которых алгоритм № 1 оказался бы не эффективным, так как он не требует появления новых сигналов. Животное само вызывает появление этих сигналов при помощи активных движений. Однако этот алгоритм имеет существенные недостатки. Эти недостатки заключаются в том, что он не предусматривает достаточной системы оценки полезности поступающей в головной мозг информации. Подкреплением, обеспечивающим выработку новых цепей условных рефлексов, является фактор новизны поступающей информации. В связи с этим алгоритм может привести к выработке очень большого количества ненужных систем рефлексов. Эти качества данного алгоритма определяют тот факт, что он может быть использован только системами, располагающими значительной памятью. Например, он имеется у собаки и отсутствует у голубя, и лишь в незначительной степени используется крысой.

В естественных условиях жизни животные используют, видимо, в различных случаях различные алгоритмы. Видимо наиболее рациональным является одновременное комплексное

FOR OFFICIAL USE ONLY

For Official Use Only

использование нескольких алгоритмов при «изучении» той или иной новой ситуации. Например, в случае комплексного использования алгоритма №№ 1 и 3 животное при помощи алгоритма № 1 может создать систему оценок полезности той или иной информации, а затем при помощи алгоритма № 3 начать активно «исследовать» внешние закономерности. В этом случае процесс «исследования» окажется несомненно более плодотворным, так как он может быть успешно завершён не только при появлении пищи (безусловного раздражителя, но и при появлении любого из выработанных на основе алгоритма № 1 сигналов (последние служат ориентирами).

Такое рассмотрение процесса выдвигает новый вопрос о существовании системы правил (алгоритма) еще более высокого порядка, который определяет наиболее оптимальную последовательность включения алгоритмов №№ 1, 2, 3.

Видимо животное на основе каких-то общих признаков новой ситуации разрабатывает сначала некоторую наимыгоднейшую программу использования различных алгоритмов, в результате осуществления которой и реализуется процесс «исследования» новой внешней среды. Вопрос о характере этих алгоритмов более высокого порядка является весьма существенным и должен стать предметом специальных исследований.

г) Более сложные формы переработки информации

В предыдущей главе были разобраны закономерности работы головного мозга, связанные с формированием цепей условных рефлексов. Однако простая цепь рефлексов представляет собой лишь одну из наиболее простых форм деятельности головного мозга.

В естественных условиях жизни животных у них проявляются формы поведения, в основе которого лежит значительно более сложная система условных рефлексов, объединяющая в своем составе большое количество особым образом связанных между собою простых цепей условных рефлексов. При этом осуществление отдельных цепей рефлексов, входящих в общую систему, обычно не приводит к получению пищи, а лишь создает определенные «предпосылки» для того, чтобы в будущем в определенных условиях другие цепи условных рефлексов могли привести к удовлетворению этой потребности. Конечное подкрепление безусловным раздражителем в виде получения воды и пищи может быть при этом отставлено на очень значительный промежуток времени. Например, в естественных условиях жизни для того, чтобы получить пищу, хищник должен выследить добычу, догнать ее, убить и лишь после этого осуществляется непосредственное безусловное подкрепление.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

Таким образом в естественных условиях жизни животного мы сталкиваемся с существованием так называемого полифазного поведения, когда каждый из его этапов создает только «предпосылку» для осуществления последующих фаз поведения.

Представляет значительный интерес изучение тех алгоритмов, которые лежат в основе формирования этих сложных форм поведения.

При рассмотрении этой проблемы, как мы уже говорили, необходимо учитывать взаимодействие двух взаимно связанных между собою систем.

Одна из этих систем представляет собой систему управления (головной мозг), а другая система является внешней средой или «полем деятельности системы управления». Во внешней среде присутствуют сложные системы взаимосвязанных процессов.

При рассмотрении поставленного в настоящей главе вопроса мы будем учитывать существование во внешней среде более сложных систем закономерностей, чем при рассмотрении предыдущей главы.

Одним из общих случаев является такой случай, при котором наличие какого-либо фактора препятствует осуществлению того или иного процесса. В качестве примера может быть приведен случай, когда при работе того или иного химического предприятия наличие какого-либо вещества служит препятствием для протекания всего цикла химических реакций. В этом случае актуальное значение приобретает вопрос об изучении таких алгоритмов в системе управления, которые сделали бы возможным выявить, какое вещество мешает химическому процессу, и далее, разработали бы такую новую программу работы, которая приводила бы к устранению этого вредного продукта.

Другим общим случаем может явиться случай, когда для осуществления того или иного процесса оказывается необходимым наличие двух независимых друг от друга компонентов. В этом случае возникает проблема отыскания таких алгоритмов работы системы управления, которые бы дали возможность выявить каждый из необходимых компонентов.

Сложность этой проблемы заключается в том, что целесообразность и важность одного из компонентов может проявиться только в присутствии второго компонента. В связи с этим затрудняется оценка ценности отдельных компонентов.

Далее, алгоритм должен предусматривать возможность выработки таких новых программ работы, которые могли бы обеспечить получение каждого из этих компонентов незави-

FOR OFFICIAL USE ONLY

симо друг от друга. При этом важно отметить, что в отличие от разобранных выше случаев выработки простых цепей условных рефлексов, при выработке новых форм поведения в этом случае животное не будет получать подкрепления в виде пищи, так как наличие одного из компонентов еще недостаточно для появления безусловного подкрепления.

Следует отметить, что мы рассматриваем определенный принцип построения систем внешних закономерностей. Сами внешние закономерности могут безусловно иметь гораздо более сложную форму, в частности система закономерностей работы какого-либо химического предприятия может включать причинно-следственные системы отношений, в которых оба перечисленных выше принципа (принцип наличия вещества, мешающего реакции и принцип наличия двух компонентов) могут проявляться многократно, сложным образом сочетаясь друг с другом.

Представляет интерес изучение тех принципов, на основе которых система управления, помещенная в описанные выше условия, может вырабатывать оптимальные формы поведения, учитывающие все особенности сложных закономерностей внешней обстановки.

Мы уже говорили о том, что выработка простой цепи условных рефлексов может быть рассмотрена как процесс выявления существующих во внешней среде систем внешних закономерностей и построение на этой основе в головном мозгу некоторой изоморфной системы, которая является как бы «копией» существующей системы внешних закономерностей.

Поставленная в этой главе задача может быть сформулирована как задача отыскания таких алгоритмов, которые обеспечили бы формирование более сложных изоморфных систем, способных отразить в своей работе более сложные формы взаимодействия систем внешних закономерностей.

Приведенная выше постановка вопроса хорошо согласуется с системой представлений Эшби. Он пишет (59), что «по существу кибернетика занимается изучением причинно-следственных связей, особенно в тех случаях, когда они представлены длинными цепями событий, где действие каждой стадии служит в свою очередь причиной следующей стадии. В таких случаях мы рассматриваем отношение не одной причины к одному действию, а всех групп причин к соответствующим группам их действия. Так как в механизмах различных типов отношений причины к действию обнаруживаются наиболее отчетливо, то методику кибернетики легче применить к ним.

Кибернетика, таким образом, есть часть общей науки о динамической организации».

FOR OFFICIAL USE ONLY

В специальной статье (16) нами был обсужден вопрос о связи кибернетики с учением В. И. Ленина об отражении.

Для изучения поставленных выше вопросов были проведены специальные опыты. Методика этих экспериментов в принципиальном отношении была похожа на методику, примененную для изучения закономерностей выработки простых цепей условных рефлексов. Отличие заключается в том, что в окружающей животное внешней среде в ходе эксперимента создавались более сложные системы внешних отношений (взаимосвязей между различными сигналами). В частности, создавались такие системы закономерностей, при которых наличие одного раздражителя делало невозможным осуществление всей цепи ранее выработанных пищевых условных рефлексов.

В этих условиях, как и при выработке простых цепей условных рефлексов, мы наблюдали процесс постепенного формирования таких сложных систем условных рефлексов, которые правильно отражали искусственно созданные в ходе опыта системы внешних закономерностей, и которые давали возможность животному в этих условиях получать пищу.

Были обнаружены следующие важные факты — оказалось, что животное способно выявлять раздражители, которые препятствуют осуществлению цепи условных рефлексов, и способно также выявлять раздражители в тех случаях, если для получения пищи оказывается необходимым одновременное присутствие нескольких различных сигналов.

Важным обстоятельством является тот факт, что используя в качестве подкрепления исчезновение раздражителя, препятствующего осуществлению пищевой цепи рефлексов, можно выработать новые цепи условнорефлекторных реакций. Эти цепи условных рефлексов отличаются тем, что они не требуют для своей выработки подкрепления безусловным раздражителем (пищей) а подкрепляются исчезновением раздражителя, препятствующего осуществлению пищевой цепи рефлексов.

Пользуясь физиологической терминологией, этот раздражитель может быть обозначен как условнотормозной раздражитель, а выработанная на его основе цепь рефлексов может быть обозначена как «растормаживающая цепь» условных рефлексов.

Эта цепь рефлексов входит в качестве составной части в общий комплекс пищевой системы рефлексов, она исчезает, в частности, когда животное накормлено или когда пищевая цепь рефлексов не подкрепляется пищей. В то же время она обладает известной «автономией», так как она может отделяться от основной пищевой цепи значительным интервалом времени и не требует после себя обязательного пищевого под-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

крепления. Пища (безусловное подкрепление) дается после завершения всей системы условных рефлексов, в которую входит данная «растормаживающая цепь».

Были выяснены некоторые закономерности, связанные с осуществлением растормаживающих цепей рефлексов. Оказалось, что животные реагируют на условные раздражители растормаживающих цепей рефлексов только в том случае, если включен условнотормозной раздражитель, на базе выключения которого была выработана данная цепь условных рефлексов. В том случае, если условнотормозной раздражитель был выключен, животное не реагировало на условные сигналы растормаживающей цепи рефлексов, несмотря на то, что данная цепь была прочно выработана.

Таким образом мы приходим к выводу, что структура системы условных рефлексов не может быть сведена к простой цепи следующих друг за другом условнорефлекторных реакций. Имеются системы с определенной более сложной структурой, связанной с наличием одного раздражителя, который мы будем называть «включающим» раздражителем. Этот раздражитель не вызывает никакой конкретной двигательной реакции, однако он включает в действие всю цепь условных рефлексов.

Мы уже говорили о том, что в наших опытах выявляются некоторые принципы построения систем условных рефлексов. В действительности сами системы, существующие в естественных условиях жизни животных и построенные на основе этих принципов, могут быть очень сложными. Как показали наши опыты к растормаживающей цепи рефлексов может быть выработан свой собственный «условный тормоз», на основе выключения которого может быть выработана растормаживающая цепь условных рефлексов второй категории. В этой второй растормаживающей цепи рефлексов также может быть выработан «свой собственный» условный тормоз, выключение которого может служить основой для выработки третьей растормаживающей цепи.

При изучении этой сложной системы, состоящей из нескольких цепей условных рефлексов, можно выявить наличие целого комплекса «взаимноподчиненных» друг другу включающих условных раздражителей.

Приведем схему.

$$\begin{array}{c} a_1 - b_1 - a_2 - b_2 - \text{пища} \\ \hline a_3 - b_3 - a_4 - b_4 - T_1 \\ \hline a_5 - b_5 - a_6 - b_6 - T_2 \\ \hline a_7 - b_7 - a_8 - b_8 - T_3 \end{array}$$

На этой схеме, включающие условные раздражители обозначены различными буквами T_1 , T_2 , T_3 .

5 Зак. 7326

65

FOR OFFICIAL USE ONLY

Как показал опыт, осуществление третьей растормаживающей цепи рефлексов оказывается возможным только в случае наличия трех включающих условных раздражителей: T_1 , T_2 , T_3 .

Включение второй растормаживающей цепи оказывается возможным при наличии двух и только двух включающих раздражителей T_1 и T_2 .

На основании опытов могут быть сделаны следующие выводы об алгоритмах переработки информации в головном мозгу, обеспечивающих формирование более сложных систем условных рефлексов.

После осуществления алгоритма № 1, описанного нами ранее, приводящего к выработке пищевой цепи рефлексов ($a_1 \rightarrow b_1 \rightarrow a_2 \rightarrow b_2 \rightarrow$ пища), осуществляется следующая последовательность действий (алгоритм № 4):

1. Если цепь рефлексов приводит к получению пищи каждый раз, то никакого дальнейшего изменения в системе действий не производится.

2. Если выработанная цепь приводит к получению пищи не каждый раз, то животное начинает воспринимать внешние раздражители. При этом в случае, если наличие какого-нибудь раздражителя (например, T_1) несколько раз совпадает по времени с осуществлением цепи рефлексов $a_1 \rightarrow b_1 \rightarrow a_2 \rightarrow b_2$ и с отсутствием пищи, то этот раздражитель запоминается.

3. После этого осуществляются следующие изменения в поведении животного:

а) в период присутствия раздражителя T_1 животное не реагирует на условные сигналы, выработанной ранее пищевой цепи рефлексов (a_1 , a_2);

б) в период отсутствия этого раздражителя (T_1) животное реагирует на эти сигналы (a_1 , a_2).

4. Если раздражитель T_1 возникает редко и продолжительность действия его незначительная, то никакого дальнейшего изменения в поведении животного не наблюдается.

Если раздражитель T_1 возникает часто и срок его действия оказывается длительным, то возникает большое количество случайных двигательных реакций. Если одна из этих двигательных реакций, например b_4 , несколько раз совпадает по времени с исчезновением раздражителя T_1 , то эта реакция запоминается.

5. После этого наблюдаются следующие изменения в поведении животного: все случайные движения у животного исчезают. Движение b_4 , которое несколько раз совпало с исчезновением раздражителя, закрепляется и повторяется каждый раз, когда возникает раздражитель T_1 .

Далее, используется алгоритм № 1, который обеспечивает выработку цепи рефлексов, приводящей к исчезновению раздражителя T_1 .

Классификация

В другой серии опытов создавалась внешняя ситуация, при которой появление пищи становилось возможным только в условиях одновременного присутствия двух независимых друг от друга раздражителей. Приводим схематическое изображение этой ситуации.

$$\begin{array}{l} a_1 \quad \bar{b}_1 \quad a_2 \cdots \bar{b}_2 \cdots a_3 \mid \bar{b}_7 \text{ — пища.} \\ a_4 \quad \bar{b}_4 \quad a_5 \cdots \bar{b}_5 \cdots a_6 \end{array}$$

Получение пищи оказалось возможным только при одновременном присутствии раздражителей a_3 и a_6 . При наличии одного из этих раздражителей пища животному не давалась. При помещении животных в эти условия было обнаружено, что у них вырабатывался рефлекс на комплексный раздражитель, включающий в свой состав два компонента — a_3 и a_6 . В случае отсутствия одного из компонентов реакции не осуществлялись.

Важно отметить тот факт, что включение одного из компонентов комплексного раздражителя (a_3 или a_6) могло служить подкреплением для выработки новой цепи рефлексов ($a_1 \cdots \bar{b}_1 \cdots a_2 \cdots \bar{b}_2 \cdots a_3$ или $a_4 \cdots \bar{b}_4 \cdots a_5 \cdots \bar{b}_5 \cdots a_6$). Эти цепи рефлексов, как и описанная нами ранее растормаживающая цепь рефлексов, не нуждались в процессе выработки в подкреплении безусловным раздражителем. В качестве подкрепления могло служить только включение одного из компонентов комплексного раздражителя (a_3 или a_6).

Таким образом оказалось возможным формировать сложные системы рефлексов, состоящие из нескольких «автономных» цепей условных рефлексов. При этом было также обнаружено, что цепи рефлекторных реакций, выработанных на основе подкрепления одним из компонентов комплексного раздражителя (a_3 или a_6), не осуществлялись, когда был включен этот сигнал (a_3 или a_6).

Таким образом, при проведении этой серии исследований мы также столкнулись с существованием особой категории «выключающих» условных раздражителей, присутствие которых делало невозможным осуществление данной цепи рефлекторных реакций.

На основании этих опытов могут быть сделаны следующие выводы об алгоритмах, лежащих в основе выработки сложных систем условных рефлексов (алгоритм № 5).

1. Если раздражители a_3 и a_6 при их совместном присутствии несколько раз совпадут по времени с получением пищи, а каждый из этих раздражителей отдельно не совпадает с получением пищи, то вырабатывается условный рефлекс на комплексный раздражитель.

Поведение животного изменяется следующим образом: а) при одновременном присутствии обоих раздражителей a_3 и a_6 животное осуществляет двигательную реакцию; б) при на-

FOR OFFICIAL USE ONLY

тиции одного из раздражителей, двигательная реакция отсутствует.

2. В том случае, если совпадение раздражителей a_3 и a_6 осуществляется часто — дальнейшего изменения поведения животных не наблюдается. Если же раздражитель a_3 и a_6 встречаются совместно редко, то возникает реакция, связанная с появлением случайных движений.

3. При этом, если какое-либо из случайно совершенных движений, например b_2 , несколько раз совпадает с появлением одного из раздражителей, например a_3 , то это движение запоминается, и при этом происходят следующие изменения в поведении животного: а) исчезают все случайные движения; б) в условиях отсутствия раздражителя a_3 — сразу возникает движение b_2 . В дальнейшем используется алгоритм № 1.

На основании этого алгоритма вырабатывается новая цепь рефлексов, которые приводят к появлению раздражителя a_3 .

Описанные выше алгоритмы могут обеспечить формирование сложных форм поведения животных в различных условиях внешней среды. При этом формируется поведение, состоящее из целого ряда автономных цепей условных рефлексов (полифазное поведение).

FOR OFFICIAL USE ONLY

ГЛАВА V

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ
НОВЫХ ФОРМ ПОВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ПЕРЕРАБОТКИ РАНЕЕ НАКОПЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Одной из важных особенностей работы головного мозга, как весьма совершенной системы, является способность к формированию новой системы условных рефлексов (новых форм поведения) на основе переработки ранее накопленной и сохраняющейся в памяти информации в связи с новой, поступающей из внешней среды информацией.

При попадании животного в новые условия внешней среды и при возникновении новых потребностей возникает такая новая форма поведения, которая с одной стороны, соответствует характеру ситуации, а с другой, приводит к удовлетворению потребностей животного. При этом возникновение новой формы поведения происходит сразу без всякой дополнительной выработки на основе использования ранее накопленного опыта. Обычно в этих условиях говорят о формировании «целесообразного», «разумного» поведения. При этом важно отметить, что поведение животного каждый раз представляет собой реакцию, возникающую на весь комплекс действующих на нервную систему в данной ситуации раздражителей.

Поведение животного не может быть рассмотрено как сумма ответов на комплекс включенных раздражителей, а представляет собой результат сложной переработки ранее накопленной и хранящейся в памяти информации, в связи с поступившей извне новой информацией. Изучение этого явления представляет большой интерес для кибернетики.

В настоящее время актуальное значение приобретает создание таких автоматических систем управления, которые оказались бы способными в новых ситуациях принимать новые целесообразные решения, ведущие к достижению полезного эффекта, используя ранее накопленную информацию.

Рассмотрим некоторые вопросы, возникающие при изучении этой проблемы в общей форме.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Пусть некоторая система управления «А» может производить различные действия: b_1, b_2, b_3 и т. д. b_n и может получить из внешней среды определенную информацию: a_1, a_2, a_3 и т. д. a_m .

Эта система имеет определенный запас информации в виде ранее выработанных систем условных рефлексов $a_1 \rightarrow b_1, a_2 \rightarrow b_2, a_3 \rightarrow b_3$ и т. д. имеется какая-то конкретная ситуация (комплекс поступающих в систему раздражителей) a_1, a_2, a_3 и т. д.

В этих условиях системе ставится задача разработать такую новую программу работы, при помощи которой можно было бы добиться какого-то результата «К». При этом важно отметить, что хотя все поступающие из управляемого объекта (внешней среды) сигналы уже известны системе управления и входят в ту или иную ранее выработанную программу работы, сама комбинация этих сигналов может быть совершенно новой.

В результате работы системы управления должна возникнуть какая-то новая оптимальная форма поведения, которая должна соответствовать данной конкретной ситуации (a_1, a_2, a_3) и приводить к достижению определенной цели (К). Иначе говоря, должна выработаться какая-то новая целесообразная форма поведения.

Эта новая программа работы возникает, очевидно, на базе переработки ранее накопленной информации. В ходе этой переработки и всей хранящейся в памяти информации, должна быть, видимо, отобрана та информация, которая, во-первых, может оказаться полезной для достижения цели К и, во-вторых, может быть использована в данной конкретной ситуации.

При решении вопроса об алгоритмах, способных производить такую переработку информации и вопроса материальной реализации этих алгоритмов следует учитывать, что в рассматриваемом нами случае система управления в значительной степени формируется в процессе обучения. Это накладывает свой отпечаток как на саму организацию системы, так и на форму хранения информации.

Информация, как мы уже говорили, видимо, сохраняется в форме большого количества разнообразных, по своему характеру и выработанных в разное время программ работы.

В процессе разработки новой формы поведения, очевидно, должны быть произведены определенные процессы выделения из различных ранее выработанных программ работы отдельных участков и объединение этих участков в новые системы.

а) Методика исследования

Для изучения этой проблемы была необходима разработка специальных методических приемов, которые позволили бы исследовать закономерности работы системы, имеющей оп-

FOR OFFICIAL USE ONLY

ределенный запас информации в различных ситуациях. Экспериментатору должен быть точно известен характер сохраняющейся в памяти информации и характер вновь поступающей информации.

С этой целью была использована методика проведения экспериментов на животных, у которых раньше уже были выработаны определенные сложные системы рефлексов. Эта методика позволяла изучить алгоритмы работы головного мозга в условиях, когда у животных уже имелась частичная или полная информация об экспериментально созданной внешней среде. Эти алгоритмы обеспечивали отыскание в памяти нужной информации и сложные процессы переработки этой старой информации в связи с новой, поступающей из внешней среды. При этом, видимо, большое значение имело сравнение и перегруппировка информации различных видов.

У животных вырабатывались сложные системы пищевых двигательных условных рефлексов, методика выработки которых уже была описана. Кроме того, вырабатывалась питьевая цепь рефлексов, подкрепляемая водой. Если животные были голодны и не испытывали жажды, то они осуществляли пищевую цепь рефлексов и не реагировали на условные раздражители водной цепи. Если животные были сыты и у них создавалась жажда, то они реагировали только на условные раздражители питьевой цепи рефлексов. В ходе экспериментов животные кормились досыта. Избыточное количество пищи лежало в кормушке. Одновременно у собак создавалась сильная жажда. Включались различные комплексы условных раздражителей пищевой системы рефлексов и не включалось ни одного сигнала питьевой цепи. При этом в определенных условиях эксперимента можно было наблюдать, что у животных возникали новые формы поведения, объединяющие в своем составе отдельные участки, взятые из различных отделов пищевых и водной систем условных рефлексов. Новое поведение нельзя было свести к простой сумме ответов на включенный комплекс сигналов. Животные каждый раз избирательно (выборочно) реагировали на одни условные сигналы выработанных ранее систем рефлексов и не отвечали на другие условные раздражители...

Если мы включали различные комплексы сигналов, то каждый раз наблюдали, характерное для данного случая перераспределение активности условных рефлексов, входящих в выработанные ранее системы. Явление избирательной активности имеет большое значение, так как оно свидетельствует о наличии определенных процессов переработки ранее накопленной информации. Важно подчеркнуть, что изучение процесса появления и исчезновения активности отдельных условнорефлекторных реакций в различных условиях дает в руки экспериментатора показатель, который может быть

FOR OFFICIAL USE ONLY

использован при изучении работы головного мозга. Новые формы поведения возникали у животных сразу без всякой дополнительной выработки в результате сложных процессов переработки информации в головном мозгу.

В ходе проведения экспериментов мы точно знали, как характер накопленной ранее информации (выработанных ранее систем условных рефлексов), так и характер вновь поступающей в головной мозг информации (новых сигналов). Мы могли также следить за процессом формирования новых систем условных рефлексов. Мы видели из какой ранее выработанной системы условных рефлексов, в каких условиях оказался взятый и использованный при построении новой формы поведения тот или иной ее участок. Варьируя форму эксперимента, включая те или иные комплексы раздражителей, можно было следить за процессом переработки ранее накопленной и вновь поступающей в головной мозг информации. Таким образом, описываемая методика давала возможность выявить некоторые алгоритмы работы головного мозга, обеспечивающие формирование новых форм целесообразного поведения в новых ситуациях.

Появление «выборочной» активности определенных условнорефлекторных реакций являлось объективным показателем определенных процессов переработки информации, осуществляющихся в головном мозгу. При этом выявляются определенные закономерности, характеризующие это явление.

При возникновении новой потребности, например, жажды, становятся активными определенные элементы тех систем рефлексов, которые непосредственно связаны с получением воды (питьевые цепи рефлексов). При этом процесс активизации начинает как бы последовательно распространяться по этим системам. Отдельные участки системы один за другим приходили в активное состояние.

Если в тех участках системы, которые сделались активными, имелся хотя бы один раздражитель, который одновременно присутствовал и во внешней среде, то возникала соответствующая рефлекторная реакция. Если же такое совпадение двух одинаковых сигналов отсутствовало, то процесс последовательной активизации ранее выработанных систем рефлексов продолжался дальше, распространяясь с одной системы на другую. Описанная картина дает основание сделать некоторые выводы относительно путей переработки информации в головном мозгу. Становится очевидным, что ранее накопленная информация может быть взята из памяти и использована при формировании новых форм поведения. При этом выявляются некоторые правила, определяющие использование старой информации. Эти правила включают в себя необходимость активизации той или иной части системы, а также

FOR OFFICIAL USE ONLY

DO NOT WRITE IN THESE SPACES

необходимость наличия одного и того же раздражителя в активном участке системы рефлексов и во внешней среде. При этом осуществляется процесс сравнения ранее накопленной и вновь поступающей информации.

Методика дает возможность выявить также роль особой системы «включающих» раздражителей. Без наличия того или иного включающего раздражителя не могла стать активной соответствующая часть системы рефлексов. Это явление имеет большое значение, оно обеспечивает избирательность процесса «просмотра» ранее выработанных систем рефлексов (ранее накопленной информации) при отыскании нужной информации и ставит этот процесс в зависимость от наличия тех или иных сигналов во внешней среде. Благодаря наличию этого механизма при отыскании сложной информации в головном мозгу не происходит просмотра всей информации, хранящейся в памяти, а просматривается только незначительная ее часть, и именно та часть, которая может оказаться полезной в данном случае.

б) Закономерности переработки ранее накопленной и вновь поступающей информации

В результате проведения экспериментов были получены следующие результаты: когда животное в ходе опыта не испытывало жажды и голода, оно не реагировало на условные раздражители ранее выработанной системы условных рефлексов. При создании жажды возникали условные рефлекс на определенные условные раздражители. При этом появление активности отдельных условнорефлекторных реакций носило избирательный характер. Прежде всего делались активными условные раздражители тех цепей условных рефлексов, которые были непосредственно связаны с получением воды (питьевых цепей условных рефлексов). При этом те условные рефлекс, входящие в цепи, которые были ближе к безусловному подкреплению — делались активными в первую очередь.

В том случае, если одновременно с активизацией той или иной цепи рефлексов во внешней среде присутствовал соответствующий условный раздражитель, возникала условнорефлекторная реакция. При этом другие рефлекс этой цепи уже не приходили в активное состояние. Если же условные раздражители отсутствовали, то процесс последовательной активизации различных условных рефлексов в ранее выработанных системах продолжал развиваться и дальше.

Важная особенность, характеризующая развитие этого процесса заключалась в том, что в случае наличия одного и того же раздражителя в двух разнородных по своему характеру системах условных рефлексов (например, питьевой и пищевой:

DO NOT WRITE IN THESE SPACES

пищевой и оборонительной системы рефлексов) начинали приходить в активное состояние условные рефлексы другой цепи рефлексов (например, пищевой системы условных рефлексов), начиная от того пункта, в котором был общий раздражитель. Вслед за этим начинался процесс последовательной «активизации» этой, второй (пищевой) цепи рефлексов.

В случае если во внешней среде отсутствовали раздражители пищевой системы рефлексов, а в пищевой системе присутствовал такой же раздражитель, как и в оборонительной цепи рефлексов, то возникал процесс последовательной активизации различных условных рефлексов оборонительной цепи рефлексов.

На основании этих опытов может быть сделан следующий вывод о характере алгоритма переработки информации, лежащей в основе формирования новых форм поведения (алгоритм № 6).

1. При создании жажды начинается процесс прослеживания (просмотра) выработанных ранее питьевых цепей условных рефлексов. При этом раздражители этих цепей, последовательно сопоставляются (сравниваются) с раздражителями присутствующими в данный момент времени во внешней среде. Если обнаруживается совпадение, то возникает рефлекторная реакция и процесс просмотра цепи рефлексов прекращается.

Если совпадения не обнаруживается, то процесс просмотра продолжается все дальше и дальше, охватывая все новые и новые условные рефлексы выработанной ранее цепи.

2. Если во внешней среде отсутствует условный раздражитель питьевой цепи условных рефлексов, а питьевая и пищевая цепи имеют общий условный раздражитель, то начинается процесс просмотра раздражителей пищевой цепи, начиная от того места, где находился общий раздражитель. При этом раздражители пищевой цепи также сравниваются с раздражителями внешней среды. В том случае, если обнаруживается совпадение, возникает рефлекторная реакция.

3. Если совпадение отсутствует, а в пищевой и оборонительной цепи имеется общий раздражитель, то начинается просмотр оборонительной цепи условных рефлексов и т. д.

Описываемый алгоритм может привести к объединению участков различных систем ранее выработанных условных рефлексов в новые функциональные комплексы.

Принцип этого объединения показан на схеме.

$$\begin{array}{l} a_1 - b_1 - a_2 - b_2 - a_3 - b_3 - \text{прекращение боли;} \\ a_4 - b_4 - a_5 - b_5 - a_6 - b_6 - a_7 - b_7 - \text{пища;} \\ a_8 - b_8 - a_9 - b_9 - a_{10} - b_{10} - \text{вода.} \end{array}$$

В результате осуществления этого алгоритма имеет место процесс последовательного сравнения накопленной информации с информацией, поступающей из внешней среды, в результате чего оказывается возможным выявление таких цепей условных рефлексов, которые соответствуют характеру внешней ситуации.

Важно подчеркнуть, что в результате осуществления описываемого алгоритма переработки информации, возникают именно такие формы поведения, которые, с одной стороны, приводят к достижению поставленной перед системой цели, а с другой — точно соответствуют характеру внешней ситуации.

Точное соответствие вновь возникающих форм поведения поставленной цели обеспечивается тем, что процесс просмотра ранее накопленного опыта начинается от тех нервных элементов, которые соответствуют характеру поставленной цели (жажды). Этот просмотр охватывает, таким образом, только те системы рефлексов, которые могут привести к получению воды. С другой стороны, в результате процесса сопоставления внешней информации с системами ранее выработанных условных рефлексов обеспечивается соответствие вновь формируемого поведения внешней ситуации.

В процессе формирования нового поведения из всей сохраняющейся в памяти головного мозга информации отбирается такая информация, которая, с одной стороны, может привести к достижению поставленной перед системой цели, и с другой, — соответствует условиям внешней среды. При этом отбор осуществляется два раза: сначала отбираются те цепи рефлексов, которые могут оказаться полезными для достижения стоящей перед системой управления цели, а затем из уже отобранных цепей отбирается та незначительная их часть, которая соответствует внешней ситуации.

Важно отметить, что при формировании сложных форм поведения в головном мозгу, как это вытекает из наших экспериментов, не происходит просмотра всей той информации, которая сохраняется в памяти. Просмотр информации имеет строго выборочный характер. Каждый раз просматривается очень незначительная часть той информации, которая была накоплена в течение индивидуальной жизни данного животного.

Большой интерес представляет рассмотрение вопроса о границах применения, описанного выше алгоритма и его эффективности в различных условиях работы головного мозга.

Для решения этого вопроса рассмотрим некоторую систему, которая имеет определенный запас информации в виде выработанных ранее цепей условных рефлексов.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Допустим, что эта система управления может производить n — различных действий ($b_1, b_2, b_3 \dots b_n$) и может воспринимать m внешних раздражителей ($a_1, a_2, a_3 \dots a_m$), у системы имеется некоторый запас информации, который может быть записан в виде схемы:

$a_8 - b_3 - a_6 - b_1 - a_4 - b_2$ — вода;

$a_3 - b_{10} - a_{15} - b_{16} - a_4 - b_{21}$ — пища;

$a_8 - b_6 - a_{15} - b_{31}$ — исчезновение болевого раздражения.

Допустим, что животное голодно и во внешней среде отсутствует сигнал пищевой цепи рефлексов. В этом случае, согласно описанному выше алгоритму в системе должны возникнуть процессы сравнения сигналов пищевой цепи рефлексов с сигналами другой цепи условных рефлексов.

Рассмотрим вопрос о том, какова степень вероятности присутствия одного и того же сигнала в различных системах, а также вопрос о времени необходимом для поиска такого совпадения, учитывая, что если совпадение не будет найдено при обследовании одной системы, то должен начаться последовательный процесс обследования других систем условных рефлексов.

Длительность поиска будет зависеть от величины « n » и « m », т. е. от количества поступивших из внешней среды сигналов и количества возможных действий системы управления. Чем большие величины имеют « n » и « m », тем большее разнообразие могут иметь выработанные ранее системы условных рефлексов и тем меньше становится вероятность совпадения одного и того же раздражителя в двух различных системах рефлексов.

В условиях, когда « n » и « m », оказываются небольшими числами описанный алгоритм может оказаться применимым. Однако в том случае, если « n » и « m » окажутся большими числами поиск момента совпадения может занять очень длительное время и описываемый алгоритм может оказаться бесполезным.

Большой интерес представляет также рассмотрение вопроса о степени «глубины поисков», в системе памяти. Как мы уже говорили, в случае отсутствия совпадения между сигналами пищевой цепи условных рефлексов и сигналами, имеющимися во внешней среде — должен начинаться процесс сопоставления сигналов этой системы с теми условными раздражителями, которые присутствуют в других цепях условных рефлексов. Этот процесс, практически, может идти неограниченно долго. При этом чем дальше (глубже) идет развитие этого процесса, тем большее количество раздражителей должно быть сопоставлено друг с другом. В каких-то узких границах этот процесс может оказаться целесообразным, однако на определенном этапе

дальнейшие поиски, очевидно, окажутся нецелесообразными, так как они будут требовать выполнения большой работы мозга и затраты большого количества времени.

Общее рассмотрение поставленных выше вопросов приводит нас к ориентировочному выводу, что описанные выше алгоритмы могут оказаться целесообразными в определенных узко ограниченных условиях работы головного мозга. Они могут оказаться эффективными у одного вида животных, в то время как у другого вида животных использование их может оказаться нецелесообразным.

На это, в частности, указывает тот факт, что эти алгоритмы удается выявить в ярко-выраженной форме в экспериментах на собаках и белых крысах.

В экспериментах на птицах, они проявляются в очень примитивной форме и совсем не проявляются у черепах.

Вместе с тем в опытах на животных удалось выявить также другие алгоритмы, намечающие другие пути решения задачи. В частности, в экспериментах, осуществленных на крысах, было выявлено, что в том случае, если вырабатывались две простые разнородные цепи условных рефлексов, можно было наблюдать объединение участков этих цепей в новом комплексе, на основании наличия в этих цепях одного общего раздражителя.

В более сложных экспериментах такого объединения не наблюдалось. Несмотря на наличие в питьевой и пищевой цепи общего раздражителя животное, которое испытывало жажду, не реагировало на условные раздражители пищевой системы рефлексов. Использование пищевой цепи условных рефлексов для получения воды (объединение двух участков разнородных цепей рефлексов) не наблюдалось. Вместо этого возникала реакция, связанная с появлением у крыс большого количества различных по своему характеру случайных движений (реакция перебора различных вариантов).

Был осуществлен следующий опыт: когда животное испытывало голод и жажду, в ходе опыта была вызвана пищевая цепь условных рефлексов. При осуществлении этой цепи возник тот раздражитель, который присутствовал также и в питьевой цепи условных рефлексов. Хотя в ходе этого опыта животное не получало воды, на следующий день была обнаружена способность головного мозга к объединению участков пищевой и питьевой цепи условных рефлексов по принципу наличия одного общего раздражителя.

Нужно думать, что питьевая цепь рефлексов, которая в ходе наших опытов не была осуществлена, находилась в некотором активном состоянии, в результате чего возникновение во внешней среде одного из раздражителей этой цепи сразу было

выявлено животным и послужило основой для последующего объединения двух цепей условных рефлексов

На основании этих опытов могут быть сделаны следующие выводы о некоторых алгоритмах работы головного мозга.

После осуществления алгоритма № 6 в том случае, если он не приводит к получению пищи, возникают следующие изменения: а) просмотр систем ранее выработанных рефлексов прекращается; б) возникает реакция, связанная с появлением большого количества случайных двигательных актов; в) нервные элементы, соответствующие условным раздражителям питьевой цепи рефлексов, сохраняются в активном состоянии [состояние доминантного возбуждения по А. А. Ухтомскому (62)].

Если в результате движения животного возникает какой-либо из раздражителей питьевой цепи рефлексов, то это движение или комплекс двигательных реакций, -- запоминается. На основе этого может возникнуть новая форма поведения.

Таким образом в данном случае система поисков, связанная с просмотром ранее накопленной информации комбинируется с системой поисков, осуществляемой при помощи двигательных реакций, направленных на изменение окружающей внешней среды.

Вопрос о целесообразности описанного алгоритма и границах тех условий, в которых он может привести к полезному результату -- может быть решен на основании рассмотрения аналогичного той форме анализа, которая была приведена нами выше. Мы не будем приводить подробно разбор вопроса. На основании общих рассуждений может быть сделан предположительный вывод, что описанный алгоритм оказывается целесообразным только в определенных условиях и применительно к определенным видам животных. На это указывает, в частности то, что у высших животных (собак) этот алгоритм оказывается выраженным в меньшей степени, чем у белых крыс.

В результате описанных выше исследований было выяснено, что наличие у животного той или иной системы рефлексов само по себе, как правило, не обеспечивает возникновения соответствующего поведения. В обычных условиях животное не реагирует на условные раздражители, входящие в эти системы. Для того, чтобы возникла та или иная форма поведения, необходимо действие какого-либо включающего раздражителя. Только тогда вокруг этого раздражителя (цели) начинает формироваться та или иная конкретная форма поведения.

Это положение имеет большое значение. В естественных условиях жизни у животных обычно формируется чрезвычайно

большое количество систем условнорефлекторных реакций. Очень многие раздражители присутствуют во внешней среде постоянно. Если бы животное реагировало всегда на все эти раздражители, то его поведение превратилось бы в хаос непрерывных, не связанных друг с другом движений. Этого, однако, не наблюдается. Поведение животных является целесообразным.

В каждый момент времени животные реагируют только на определенный узко ограниченный круг раздражителей и не реагируют на все остальные условные раздражители. Без указанной способности избирательно реагировать только на некоторые определенные раздражители внешней среды (и именно на те раздражители, которые необходимы в данных условиях) невозможно представить себе целесообразного, целенаправленного поведения.

В основе этого явления лежит формирование у животных сложных конструкций условных рефлексов, обладающих особыми системами, взаимноподчиненных «включающих» и «выключающих» раздражителей, делающих активными те или иные цепи рефлексов. При этом большое значение имеют изложенные выше принципы организации систем рефлексов, связанные с существованием боковых добавочных цепей рефлексов, приводящих к достижению промежуточных целей. Такая система обеспечивает осуществление целесообразного, поведения.

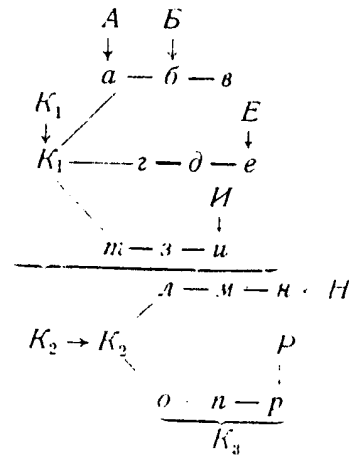
Далее следует подчеркнуть значение того факта, что различные цепи рефлексов, выработавшиеся на основе их подкрепления пищей, водой и т. д. в дальнейшем теряют свое специфическое значение. При возникновении новой потребности они сразу используются для ее удовлетворения. Это явление имеет очень большое значение. Если бы в основе каждой из многочисленных форм поведения животного лежала бы особая специфическая цепь рефлексов, то это потребовало бы очень большого объема памяти. Значительно более экономной в смысле необходимого числа рабочих элементов является система, которая позволяет использовать старый опыт в различных новых условиях.

Такая система должна обладать, однако, специфическими механизмами, обеспечивающими отыскание в системе памяти и переработку нужной информации.

В связи с этой проблемой нам кажется важным отметить некоторые специфические особенности, связанные с хранением и отыскиваем информации.

Прежде всего следует подчеркнуть значение определенной системы, определенной организации в хранении информации. Эта структура может быть в общей форме представлена в виде многократно ветвящейся системы, объединяющей особым образом соединенные между собой цепи рефлексов.

FOR OFFICIAL USE ONLY



В этой схеме большими буквами обозначены различные раздражители внешней среды (E, И, H, P, K, K₂ и т. д.). Маленькими буквами обозначены соответствующие клетки рецепторной зоны коры больших полушарий, K₁, K₂, K₃ -- пусковые условные раздражители.

Эта схема не претендует на точное отражение действительности, однако она позволяет в более наглядной форме представить себе некоторые принципы построения системы.

Характерной особенностью этой структуры является, во-первых, ее древовидное ветвление, и, во-вторых, наличие системы включающих раздражителей разных категорий (K₁, K₂, K₃ и т. д.).

Можно думать, что при отыскании в системе памяти нужной информации большое значение имеет процесс распространения волны возбуждения по системам нервных связей и явление суммации возбуждений в нервных клетках. Рассмотрим это явление. Как мы уже говорили, в обычных условиях животное не реагирует на условные раздражители, входящие в эту систему (A, B, M, H и т. д.). Для того, чтобы возникла какая-либо рефлекторная деятельность, необходимо появление какого-либо из включающих условных раздражителей (K₁ или K₂ и т. д.). В нашей схеме он обозначен буквой K₁. При действии этого раздражителя в пункте K₁ возникает волна возбуждения, которая начинает распространяться по всем тем системам условнорефлекторных связей, с которыми связан пункт K₁. Результат этого процесса будет зависеть от того, имеется ли в данный момент времени во внешней среде соответствующий внешний раздражитель D, Г или A. Если такой раздражитель присутствует, то в соответствующей нервной клетке осущест-

вляется процесс суммации возбуждения и возникает двигательная рефлекторная реакция. Если же раздражителя нет, то рефлекторного ответа не возникает и волна возбуждения начинает распространяться по другим структурам.

Может получиться также, что условный раздражитель (И) присутствует во внешней среде, но одновременно присутствует и условный тормоз K_2 , который препятствует осуществлению цепи рефлексов - $T - Z - И$. В этом случае в пункте K_2 также, как ранее в пункте K_1 , создается очаг возбуждения. Это возбуждение начинает распространяться по системам связей $Л - М - Н$ и $О - П - Р$. В результате этого формируется такое поведение, которое приводит к устранению условного тормоза (K_2). Если же на пути стоит новый условный тормоз K_3 , то процесс по такому же принципу идет еще дальше.

При рассмотрении этой схемы следует отметить, что она обеспечивает быстрое отыскание нужной информации. Процесс прослеживания, который совершается в системе в ходе распространения волны возбуждения по системам условнорефлекторных связей охватывает только определенную, очень незначительную часть «памяти», и именно ту ее часть, которая связана с пусковым раздражителем K_1 . Большое значение при этом играет система пусковых раздражителей K_1, K_2, K_3 и т. д., которые создают как бы специфическую систему субординации, соподчинения. В результате этого процесс нерационального (холостого) прослеживания сводится к минимуму.

Не трудно убедиться также в том, что в результате распространения волны возбуждения по системам ранее выработанных связей и явления суммации в нервных клетках осуществлялся процесс сопоставления внешней информации, поступающей в головной мозг с системой ранее выработанных нервных связей, а также процесс перекombинации систем ранее выработанных связей.

В результате этого каждый раз формируется именно такое поведение, которое точно соответствует условиям внешней среды и приводит к достижению нужной цели. При формировании этого поведения организм получает большое количество внешней информации, при этом головной мозг, как бы активно выбирает эту информацию. В каждый данный момент времени он реагирует только на определенный, строго ограниченный круг внешних раздражителей.

Следует также отметить, что на основании одной системы условнорефлекторных связей, в зависимости от условий внешней среды, может формироваться большое количество разнообразных форм поведения.

в) Изучение более сложных форм переработки информации

Наконец, следует рассмотреть случай, при котором формирование новой программы работы головного мозга определяется не одним, а несколькими условиями. Как и в рассмотренном ранее случае основой формирования новых форм поведения служит возникновение некоторой новой внешней ситуации и появление новой цели работы системы управления. Существенным отличием является то, что наряду с необходимостью достижения определенной цели система управления должна при формировании новых форм поведения учитывать необходимость избежать возникновения определенных ситуаций, которые могут оказаться для нее вредными.

Такие условия могут очень часто встречаться как в жизни животных, так и при работе различных машин, управляющих работой промышленных предприятий.

В естественных условиях жизни живых организмов очень часто оказывается необходимым найти такую форму поведения, которая привела бы к удовлетворению той или иной потребности (получение воды, пищи и т. д.) и в то же время избежать ситуаций, которые могут представлять угрозу для жизни данной особи, а также избежать при осуществлении новой формы поведения возможности получения болевых раздражителей.

При работе систем управления также могут быть поставлены условия при формировании новой программы работы избежать определенных ситуаций, которые могут привести к авариям и порче оборудования.

Система управления в этом случае должна обладать новыми способностями, которые должны давать ей возможность после того, как окажется сформированной та или иная целесообразная форма поведения, заранее «предвидеть» все те вторичные возможные последствия, к которым может привести осуществление этого поведения, она должна быть способной к формированию таких новых форм поведения, которые могли бы сохранить неизменным полезный эффект поведения, в то же время исключить возможность появления отрицательного (болевого) воздействия.

Для изучения этого вопроса были проведены следующие опыты: у животных (собак и крыс) вырабатывалось несколько, различных по своему характеру, систем условных рефлексов, одна из которых была связана с включением болевого раздражителя.

Приведем схему этой системы условных рефлексов.

$$\left. \begin{array}{l} a_2 - b_3 - a_1 - b_1 - a_2 \\ \quad \quad \quad + \\ \quad \quad \quad a_4 \end{array} \right\} \begin{array}{l} b_2 - \text{пища;} \\ \text{болевое раздражение;} \end{array}$$

$a_3 - b_5 - a_6 - b_6$ — выключение a_4 ;

$a_7 - b_7 - a_1 - b_3$ — вода.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Из схемы видно, что у животного была выработана пищевая цепь рефлексов, кроме того были выработаны оборонительные рефлексы. При этом условным сигналом включения болевого раздражителя явился комплексный раздражитель, состоящий из двух раздражителей — a_4 и a_2 . Один из компонентов комплексного раздражителя a_2 был включен в пищевую цепь условных рефлексов. Таким образом в том случае, если во внешней среде присутствовал раздражитель a_4 , то создавалась такая ситуация, при которой в процессе осуществления пищевой цепи условных рефлексов животное само активно включало раздражитель a_2 , благодаря чему создавались условия для получения им болевого раздражения. Далее была выработана цепь рефлексов, устраняющая болевое раздражение. Эта цепь условных рефлексов подкреплялась выключением сигнала a_4 . Кроме этого, выработалась питьевая цепь условных рефлексов, которая имела один общий раздражитель с пищевой цепью условных рефлексов (a_1).

Опыт осуществлялся следующим образом, у животного вызывался голод и давалось избыточное количество воды (чашка с водой стояла в камере), в этих условиях создавалась следующая экспериментальная ситуация, включался сигнал a_4 (один из компонентов комплексного сигнала болевого раздражения) и сигнал a_5 (условный раздражитель цепи выключающей сигнал a_4). Животное не реагировало на эти раздражители. Тогда через некоторый интервал времени включался раздражитель a_7 (условный раздражитель водной цепи условных рефлексов). В этих условиях создавалась определенная, новая для животного, ситуация, с которой оно сталкивалось впервые. Эта ситуация характеризовалась тем, что путем объединения питьевой и пищевой цепи рефлексов на основе наличия одного общего раздражителя (a_1) могла образоваться система рефлексов, при помощи которых животное могло получить пищу. Для того, чтобы получить пищу, животное должно было ответить реакцией на раздражитель a_7 , но в то же самое время эта ситуация характеризовалась тем, что в процессе осуществления цепи рефлексов животное должно было само включить болевое раздражение.

Опыт показал, что включение раздражителя a_7 не вызвало соответствующей рефлекторной реакции, а вызвало совершенно другой эффект. Вместо того, чтобы осуществить реакцию a_7 , животное после включения этого раздражителя осуществило реакцию на сигнал a_5 (условный раздражитель цепи рефлексов, выключающий сигнал a_4).

В результате этого осуществлялась цепь условных рефлексов, которая приводила к выключению одного из компонентов комплексного сигнала болевого раздражения a_4 . После этого животное реагировало на раздражитель a_7 (условный раздражитель питьевой цепи рефлексов) и, осуществляя объединен-

6*

FOR OFFICIAL USE ONLY

100-077-115-112

ную цепь условных рефлексов, получало пищу. Таким образом оно находило способ получить пищу, не получив в то же время болевого раздражения.

При анализе результатов этого опыта следует учитывать, что описанная выше ситуация была впервые создана в жизни животного. Таким образом возникшее целесообразное решение задачи явилось продуктом сложной аналитико-синтетической деятельности головного мозга. Все перечисленные выше три цепи условных рефлексов вырабатывались независимо друг от друга и впервые были объединены в условиях данного эксперимента.

Приведенный выше опыт указывает на то, что головной мозг обладает сложным механизмом, позволяющим проводить формирование новых форм поведения на основе ранее накопленного опыта с учетом целого ряда факторов и открывает пути для научного анализа этого явления. Следует, однако, заметить, что описанные выше алгоритмы, связанные с процессом иррадиации возбуждения по системам ранее выработанных условнорефлекторных связей не могут полностью объяснить этого явления.

Можно думать, что уже после того, как было сформировано определенное поведение — был осуществлен новый комплекс процессов, который дал животному возможность предусмотреть все возможные отрицательные результаты, к которым могло привести данное поведение и выработать такие формы реакций, которые могли бы ликвидировать эти отрицательные последствия. Вопрос об алгоритмах и физиологических механизмах, лежащих в основе этого явления остается еще в значительной степени неясным. В этом отношении необходима дальнейшая работа.

FOR OFFICIAL USE ONLY

ГЛАВА VI

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

В этой главе будет описан автомат, созданный при участии авторов этой книги на основе изучения некоторых принципов работы головного мозга животных.

При этом преследовались цели, в частности, проверить некоторые выводы, сделанные в результате проведения опытов на животных.

а) Постановка задачи. Формальный нейрон Мак-Каллока и Питтса

Моделирование процесса обучения уже давно привлекает многих ученых. Вероятно первой попыткой на этом пути была «черепаха» Грея Уолтера. Однако «условный рефлекс», который мог быть выработан у черепахи, выглядел слишком искусственно.

Условный рефлекс моделировался также и на универсальных машинах. Этот путь позволяет изучить рефлекс только с внешней стороны, статистически.

Попыток моделировать выработку сложных цепей условных рефлексов, насколько известно, не было.

Описываемый автомат представляет такую попытку. Моделирование выработки сложных рефлексов на универсальной машине возможно, но менее интересно, так как не выдвигает никаких гипотез о самом механизме выработки рефлексов. Создавая автомат, специально для целей изучения механизма образования сложных рефлексов можно выдвинуть ряд гипотез, касающихся нейрофизиологического механизма их образования.

Описание автомата будет дано следующим образом: сначала будет построена схема в формальных нейронах Мак-Каллока и Питтса, затем будут даны некоторые принципиальные схемы, по которым строился действующий автомат.

Выше (гл. II) было дано представление о нервных сетях Мак-Каллока и Питтса.

Здесь мы рассмотрим более подробно универсальный элемент — формальный нейрон, из которых состоят разобранные в гл. II нервные сети Мак-Каллока и Питтса.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Сделав некоторые допущения Мак-Каллок и Питтс (41) пришли к тому, что при рассмотрении логических сетей можно использовать упрощенную модель нейрона — формальный нейрон. Такой нейрон состоит из тела или сомы. С телом нейрона могут соприкасаться одна или несколько концевых пластин других нейронов, которые возбуждают его. Концевые пластины могут быть возбуждающими и тормозящими. Разделяющий промежуток между телом и концевой пластиной называется си-

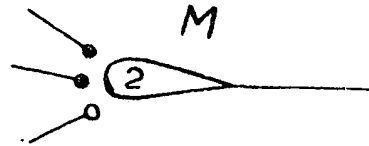


Рис. 1. Формальный нейрон

напсом. От тела нейрона идут нервные волокна (аксоны), которые и кончаются концевыми пластинами.

Каждый нейрон характеризуется числом n — порогом нейрона. Порог нейрона — это минимальная разность между возбужденными пластинами, возбуждающими и тормозящими, приводящая к возбуждению нейрона.

Будем обозначать нейрон, как показано на рис. 1. Возбуждающие пластины обозначим черными точками, тормозящие кружочками. Число, характеризующее порог, будем писать на теле нейрона. Для нейрона M (рис. 1) порог равен 2, это значит, что для того, чтобы он возбудился, необходимо, чтобы были возбуждены одновременно две возбуждающих пластины или одна тормозящая и три возбуждающих и т. д.

б) Моделирование простого условного рефлекса

Перейдем теперь к построению схемы автомата. Первая задача, возникающая при моделировании процесса обучения — задача моделирования простого условного рефлекса.

Рассмотрим автомат во взаимодействии с внешней средой. Внешняя среда будет описываться множеством раздражителей. Обозначим их I_1, I_2, \dots, I_n . Автомат будет описываться множеством действий (реакций на внешние раздражители) — a_1, a_2, \dots, a_n . Действия автомата направлены к определенной цели — получить из внешней среды подкрепление N (безусловный раздражитель). Среда может, конечно, характеризоваться множеством безусловных раздражителей (в реальной среде — пища, вода и т. д.). Однако при построении данного автомата задача была упрощена и был рассмотрен лишь один безусловный раздражитель.

FOR OFFICIAL USE ONLY

SECRET

В каждой конкретной обстановке (среда) для получения подкрепления N нужно проделать определенную последовательность действий, каждое из которых вызывается определенным раздражителем, причем появление его является показателем правильности предыдущего действия, т. е. подкреплением. Таким образом каждая конкретная обстановка описывается цепочкой вида:

$$I_i - a_e - I_m - a_q - \dots I_s - a_p - N,$$

где: I_k — внешние раздражители;

a_k — действия автомата;

N — цель (безусловный раздражитель).

Обучение автомата происходит с конца, т. е. сначала вырабатывается простой условный рефлекс.

$$I_s - a_p - N.$$

Затем раздражитель I_s становится в свою очередь подкреплением при выработке следующего звена цепочки, т. к. он теперь непосредственно через действие a_p связан с безусловным раздражителем N . Достаточно при появлении раздражителя I_s сделать действие a_p , чтобы получить подкрепление N (например, пищу для животного).

Однако, внешние условия могут измениться, и при ответе действием a_p на раздражитель I_s среда не ответит появлением безусловного раздражителя. Тогда, очевидно, автомат должен «забыть» этот рефлекс с тем, чтобы выработался новый, годный в этой обстановке. Этот момент не был предусмотрен в «черепахе» Уолтера, как не было там и понятия подкрепления. Однако в опыте на универсальной машине этот момент присутствовал.

Вернемся к задаче моделирования простого условного рефлекса.

Поставим в соответствие каждому внешнему раздражителю рецепторный нейрон автомата I_1, I_2, \dots, I_n .

Задача заключается в следующем: если при появлении раздражителя I_s (возбуждается рецепторный нейрон автомата I_s) автомат случайно отвечает действиям a_p и появляется подкрепление N и это происходит несколько раз, то автомат всегда должен отвечать на появление раздражителя I_s действиями a_p .

Рассмотрим схему рис. 2. Назовем эту схему схемой центральной клетки. Она имеет три входа и выход. Выход центральной клетки должен возбудиться и остаться возбужденным, если все три входа возбуждались одновременно некоторое (вообще говоря, случайное) число раз.

Раздражение рецепторного нейрона I_s передается на вход I_s , эффекторного на вход a_p и появление подкрепления воз-

FOR OFFICIAL USE ONLY

буждает вход N . Если все три входа возбуждены, то возбуждаются нейрон P , имеющий порог 2 и нейрон Q , также с порогом 2. Возбуждение с нейрона Q передается на вход накопителя возбуждений R .

Накопитель R также как и все нейроны характеризуется порогом накопителя. Однако этот порог величина случайная.

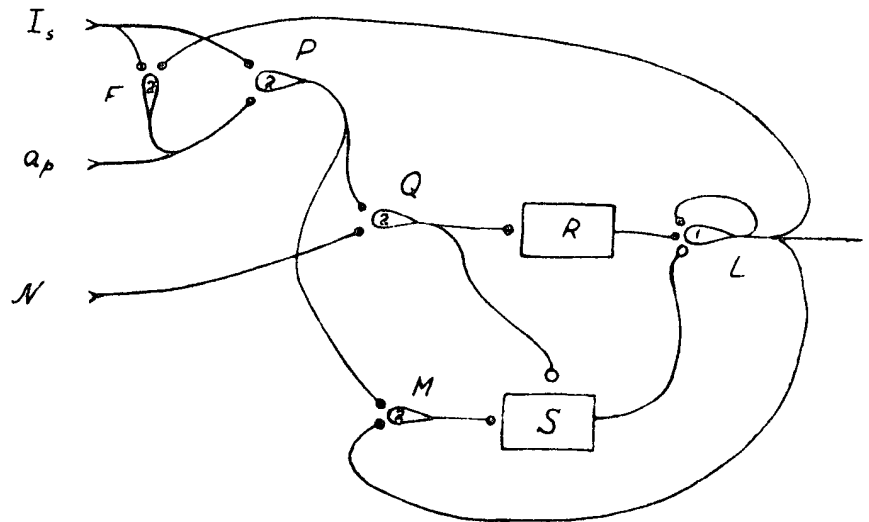


Рис. 2 Центральная клетка

зависящая от числа предыдущих возбуждений, температуры и т. д.

Когда число возбуждений превысит этот порог, возбуждается выход накопителя. Аксон накопителя имеет концевую пластину, соприкасающуюся с телом нейрона L , имеющего порог I .

Нейрон L возбуждается и благодаря петле обратной связи останется возбужденным. Кроме этого с нейроном L соприкасается также тормозящая концевая пластина. Таким образом, будучи раз возбужденным, нейрон L остается возбужденным до тех пор, пока не будет возбуждена тормозящая пластина. Рефлекс выработан. Теперь при возбуждении рецензорного нейрона I_s возбуждается нейрон E , имеющий порог 2 (одна его пластина, находящаяся на аксоне нейрона L , возбуждена все время) и связанный с эффекторным нейроном a_p .

Таким образом при воздействии на автомат раздражителем I_s он всегда будет отвечать действием a_p .

Если при этом автомат не получает из внешней среды подкрепления, то возбуждение с нейрона P через нейрон M поступает на счетчик возбуждений S . Счетчик возбуждений так же

имеет определенный порог. Если ситуация повторяется несколько раз (автомат не получает подкрепления в ответ на действие a_p), число возбуждений превосходит порог счетчика возбуждений S , возбуждается аксон счетчика и, следовательно, тормозящая концевая пластина, соприкасающаяся с телом нейрона L . Рефлекс угасает.

Если подкрепление все же получено, то возбуждается нейрон Q , аксон которого связан со сбросом счетчика числа возбуждений. Счетчик возбуждений придет в начальное состояние. Рефлекс подкрепляется и не угасает.

С помощью такой схемы можно, следовательно, моделировать условный рефлекс. Однако, среда характеризуется некоторым множеством раздражителей. Автомат также характеризуется некоторым множеством реакций. Необходимо иметь возможность для автомата выработать любой условный рефлекс (любое действие на любой раздражитель)*. Этого момента не было ни в одной из попыток моделирования процесса обучения. Поэтому, как справедливо пишет Косса в своей книге «Кибернетика» (35), рефлекс у «черепахи» был предопределен заранее. Автомат должен иметь «свободу обучения», т. е. возможность выбрать нужную связь из множества допустимых.

Для решения этой задачи построим матрицу $m \times n$ из центральных клеток (рис. 3). Каждая строка матрицы связана с определенным эффекторным нейроном (т. е. на вход a_k , каждой центральной клетки, образующей строку матрицы, подается сигнал, возбуждающий соответствующий эффекторный нейрон a_k).

Каждый столбец матрицы связан с определенным рецепторным нейроном. Кроме того, на все центральные клетки матрицы подается сигнал от подкрепления.

Если теперь возбуждается, допустим, рецепторный нейрон I_k , автомат отвечает действиям a_s и получено подкрепление N , то все три входа будут возбуждены только у центральной клетки, лежащей на пересечении k -того столбца и s -той строки. У всех остальных клеток будут возбуждены только два или один вход. Если совпадение повторится несколько раз, то именно в этой центральной клетке возбудится нейрон L и через нейрон F объединит аксон k -того раздражителя с телом s -того эффекторного нейрона. Таким образом может быть выработан любой из $m \times n$ возможных условных рефлексов.

Чтобы можно было выработать рефлекс нужно, чтобы автомат как-то воздействовал на среду, в которой он находится. Для этого в автомате имеется блок случайных действий, который возбуждает эффекторные нейроны равновероятно. Когда автомат обучен, блок случайных действий отключается и ав-

* Имеется в виду любая реакция из числа возможных для автомата на любой воспринимаемый раздражитель.

FOR OFFICIAL USE ONLY

томат отвечает определенным образом на внешние раздражители.

в) Проблема различения временных изображений

Мы построили схему автомата, который моделирует выработку простого условного рефлекса. Перейдем теперь к сложным условным рефлексам. Пусть у автомата должна быть выработана цепь рефлексов

$$I_2 - a_3 - I_1 - a_1 - I_5 - a_1 - N.$$

Тогда подкреплением для связи $I_5 - a_1$ будет N , для связи $I_1 - a_1$ будет I_5 , N , для $I_2 - a_3 - I_1$, I_5 , N . Так как обучение автомата происходит с конца, то подкреплением для данного рефлекса будут все раздражители, на которые рефлексы выработаны раньше. Следовательно, встает задача временного различения раздражителей, на которые выработаны рефлексы.

Временное различение понимается в следующем смысле: если в k -том столбце возбудилась какая-либо центральная клетка (рис. 3), то раздражитель I_k должен стать подкреплением для всех остальных столбцов. Если далее какая-либо клетка возбудилась в s -том столбце, то раздражитель I_s должен стать подкреплением для всех остальных столбцов, кроме k -того.

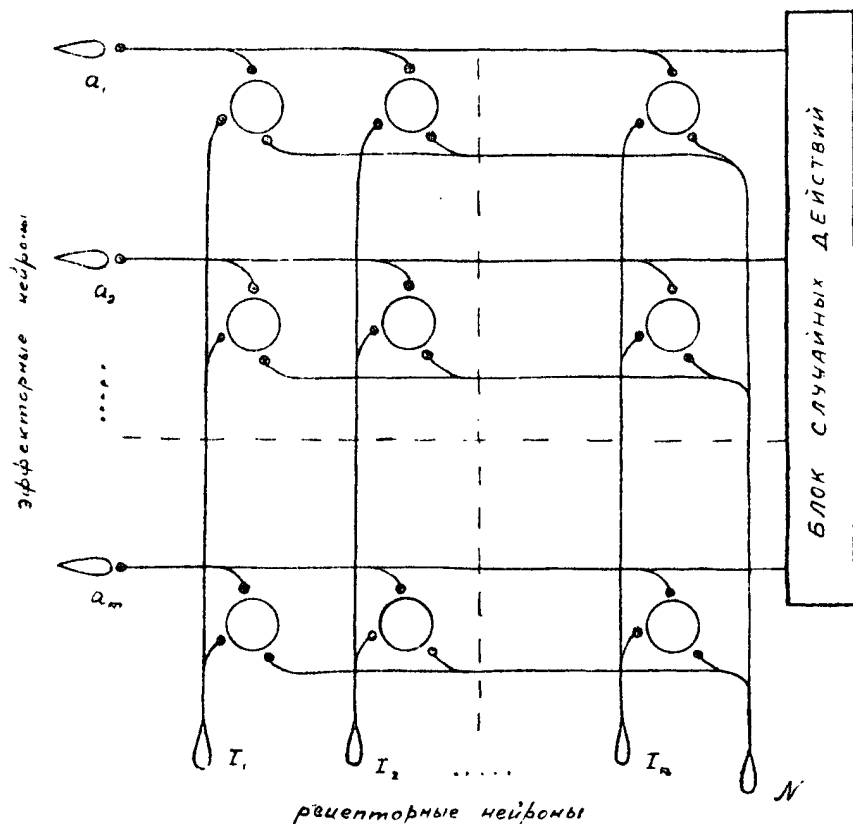
Проблема временного различения сводится к следующей: имеется некоторое волокно, проводимость которого в смысле «все или ничего» управляется некоторой схемой с двумя нумерованными входами 1 и 2. Если вход 1 этой схемы возбудился раньше чем вход 2, то волокно проводит, независимо от того, возбудился затем вход 2 или нет. Если же возбудится раньше вход 2, то волокно не проводит, независимо от того, возбудится ли вход 1.

Рассмотрим схему рис. 4. Нервное волокно, проводимость которого должна изменяться, представляет собой цепь 3—4, в которую включены два нейрона P и Q . В первоначальном состоянии эта цепь не проводит возбуждения, так как нейрон Q имеет порог, равный 2. Если теперь вход 1 окажется возбужденным, то цепь 3—4 будет проводящей, так как у нейрона Q возбуждена одна из возбуждающих пластин. Кроме того при возбуждении входа 2, цепь 3—4 останется проводящей, так как у нейрона L возбуждена тормозящая пластина и он не сможет возбудиться. Следовательно, при появлении возбуждения на входе 3, возбуждается нейрон P , а затем нейрон Q , уже имеющий возбужденной одну пластину (порог 2), и таким образом возбуждение проходит по цепи 3—4.

Рассмотрим случай, когда сначала возбужден вход 2. Тогда нейрон L возбуждается и самоблокируется благодаря петле обратной связи. У нейрона P возбуждается тормозящая пла-

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY



рецепторные нейроны

Рис. 3

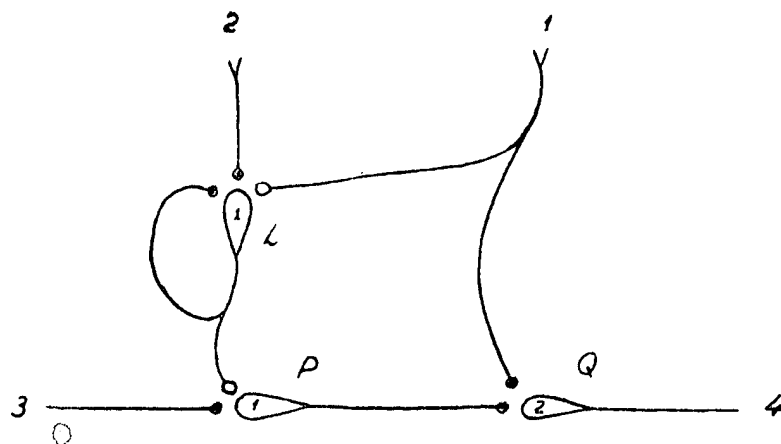


Рис. 4. К проблеме временного различия.

FOR OFFICIAL USE ONLY

стина и цепь 3—4 оказывается непроводящей. Нейрон L имеет две возбужденные возбуждающие пластины, и при возбуждении входа I не сможет затормозиться.

Так может быть решена проблема временного различения раздражителей.

г) Формальная схема автомата

Для того, чтобы в автомате имелась возможность вырабатывать цепи условных рефлексов (программу действий), необходимо соединить сеть выработки простых условных рефлексов с сетью временного различения раздражителей. Рассмотрим полную схему автомата.

Сделаем для каждого столбца отдельные шины подкрепления и свяжем их через схемы, подобные схеме рис. 4 с каждым раздражителем, кроме раздражителя данного столбца. На рис. 5 показано такое соединение для столбца I_k . С телом нейрона M_k соприкасаются концевые пластины аксонов всех m центральных клеток (их нейронов L , рис. 2) столбца I_k . С телом нейронов $M_1 \dots M_k$ соприкасаются соответственно концевые пластины центральных клеток столбцов $I_1 \dots I_n$. Таким образом видно, что все те раздражители, на которые были выработаны условные рефлексы раньше, чем на раздражитель I_k станут подкреплением для условного рефлекса на раздражитель I_k . Те раздражители, рефлексы на которые были выработаны позже, чем на раздражитель I_k , уже не станут подкреплением для рефлекса на I_k . Это происходит благодаря работе схемы на нейронах $P_1, Q, L, \dots P_n, Q_n, L_n$, уже рассмотренной выше (рис. 4).

Таким образом мы построили в формальных нейронах схему автомата, моделирующего выработку цепи условных рефлексов. Общая блок-схема приведена на рис. 6. Работа отдельных ее блоков уже описана выше.

Основные блоки автомата — матрица $m \times n$ центральных клеток, n схем, приведенных на рис. 5, и блок генератора случайных действий.

Вначале, когда автомат не обучен, он случайным образом воздействует на среду благодаря работе генератора случайных действий. Среда в свою очередь как-то воздействует на автомат, возбуждая его рецепторные нейроны $I_1, I_2 \dots I_n$.

Если случайное совпадение некоторого раздражителя I_s с действием a приводит к появлению подкрепления N , и это происходит несколько раз, в автомате закрепляется связь между раздражителем I_s и действием a_k (возбуждается центральная клетка на перенесении s -того столбца и k -той строки) и в дальнейшем автомат отвечает действием a_k на появление раздражителя I_s . Если этот рефлекс не подкрепляется раздражителем N , то он в конце концов угасает. Кроме того, что устанавливается связь между действием и раздражителем, раздра-

FOR OFFICIAL USE ONLY

SECRET

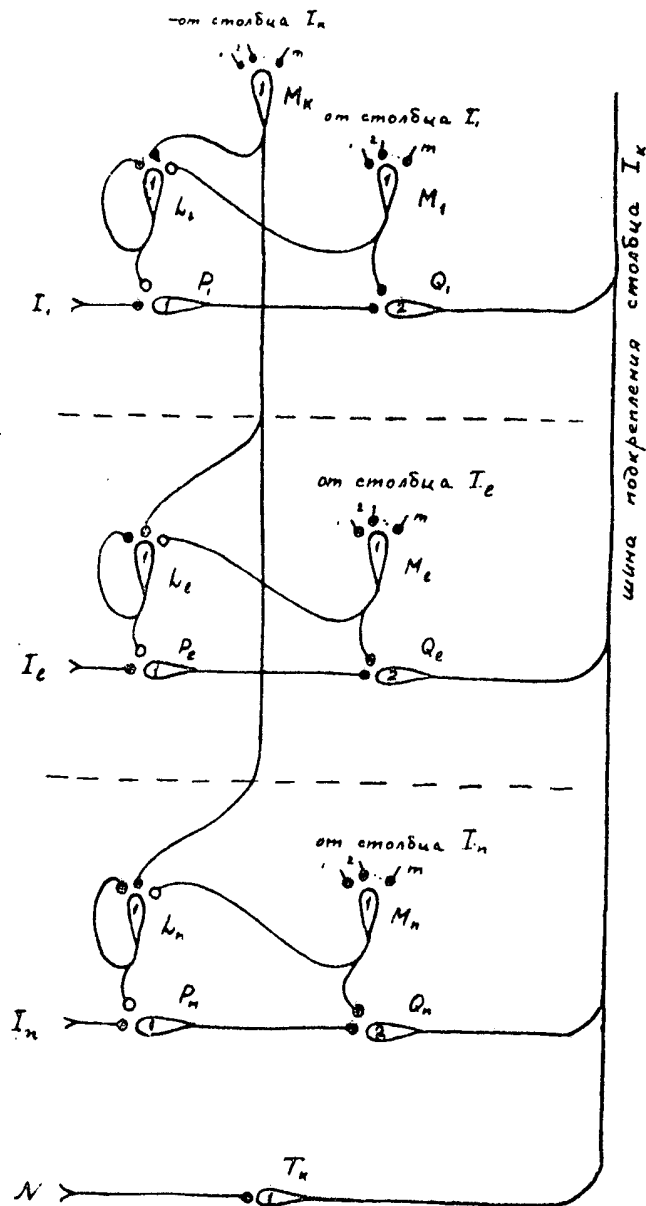


Рис. 5. Сеть временного различия

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

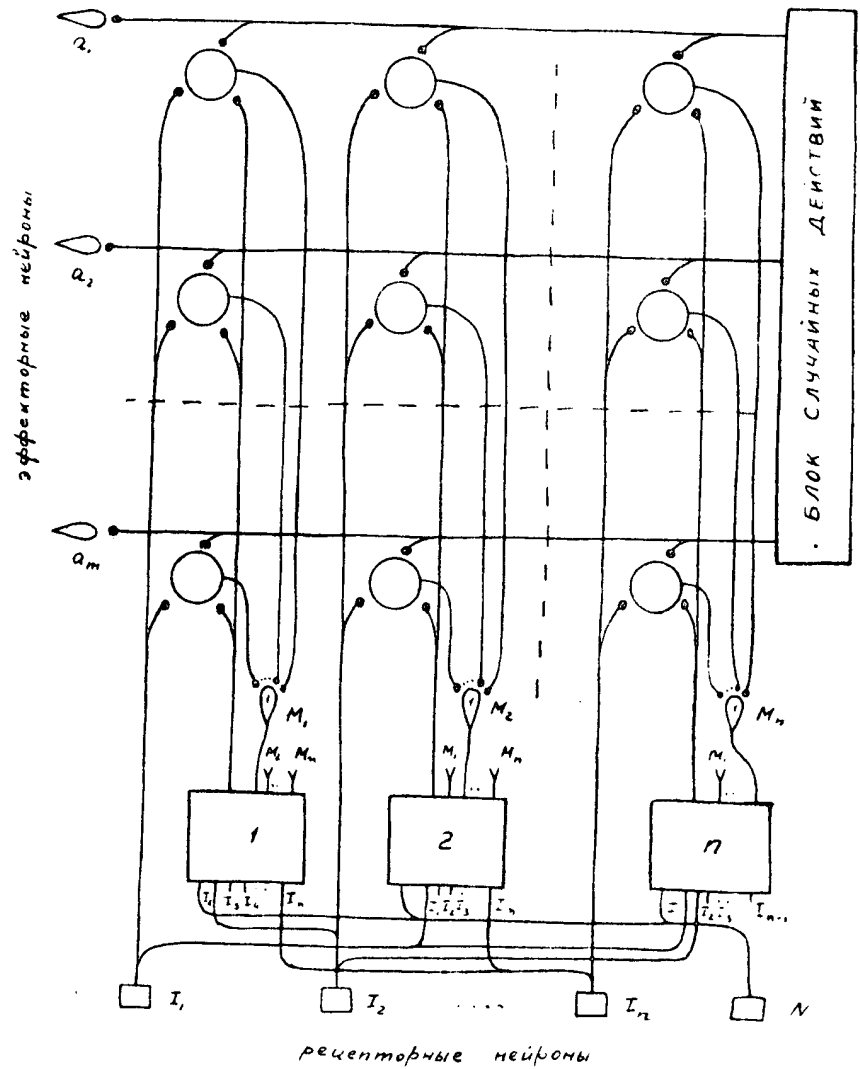


Рис. 6. Блок-схема автомата.

FOR OFFICIAL USE ONLY

житель I_s становится подкреплением для последующих рефлексов. Это происходит благодаря работе схем временного различения $I, 2 \dots n$.

Так происходит до тех пор, пока цепь рефлексов не выработана до конца. Затем автомат становится полностью детерминированным, т. е. совершает определенное действие в ответ на определенный раздражитель.

Если внешние условия изменились, то автомат перестает получать подкрепление в результате своих действий и разучивается. Затем начинается обучение в новых внешних условиях так же, как было описано.

В структуре автомата заметна избыточность строения — матрица состоит из $m \times n$ центральных клеток, однако, когда автомат полностью обучен, в работе участвует только m (или n клеток). Такая избыточность очевидно необходима, чтобы избавиться от детерминизма, который проявляется в «условном рефлекс» «черепахи».

Блок-схема автомата, показанная на рис. 6 несколько упрощена по сравнению со схемой действующего автомата, однако принципиально схемы одинаковы.

Можно еще усложнить схему автомата так, чтобы он вырабатывал «рефлекс» не на один раздражитель, а на некоторое сочетание их. Однако это приведет лишь к количественному усложнению схемы автомата.

Рассмотрим подмножества множества раздражителей. Отсутствие раздражителя обозначим через «0».

$00 \dots 0$	— подмножество 1 (пустое);
$I_1, 0, \dots 0$	— подмножество 2;
$0, I_2, 0 \dots 0$	— подмножество 3;
$\dots \dots \dots$	
$00 \dots I_n$	— подмножество n ;
$I_1, I_2 0 \dots 0$	— подмножество $n + 1$;
$\dots \dots \dots$	
$I_1, I_2 \dots I_n$	— подмножество 2^n .

Всего таких подмножеств в данном множестве 2^n . Поставим в соответствии каждому подмножеству рецепторный нейрон автомата. При возбуждении данного подмножества входов автомата должен возбудиться этот и только этот нейрон.

Также поступим с действиями автомата, и каждому эффекторному нейрону поставим в соответствии определенное подмножество действий. Тогда эффекторных нейронов будет 2^m . Соответственно матрица автомата увеличится, она будет содержать $2^n \times 2^m$ центральных клеток.

Вообще автомат с таким усложнением будет носить более общий характер, т. е. он окажется способным вырабатывать рефлексы не только на отдельный раздражитель, но и на комп-

FOR OFFICIAL USE ONLY

лекс раздражителей. Этот комплекс раздражителей будет восприниматься автоматом как нечто целое, отличное от простой их суммы.

д) *Некоторые электрические схемы автомата*

Рассмотрим теперь некоторые электрические схемы действующего «обучающегося» автомата.

Автомат был построен в Московском энергетическом институте студенческим конструкторским бюро кибернетики, руководимым Ю. Н. Кушелевым *.

В основном блок-схема автомата совпадает с блок-схемой, построенной в формальных нейронах, и усложнена в деталях. Так, например, введены схемы, запрещающие совершать два действия сразу.

Автомат реагирует на четыре внешних раздражителя. Раздражители имитируются нажатием специальных кнопок автомата. Автомат может «совершать» три действия, которые проявляются в виде зажигания одной из трех лампочек. Кроме этого, у автомата имеется еще одна специальная кнопка, нажатие которой имитирует появление подкрепления.

Роль среды в процессе обучения играет оператор, нажимающий кнопки автомата. Необученный автомат совершает случайные действия, т. е. зажигает лампочки случайно. В автомате применена оригинальная схема генератора случайных сигналов, использующая естественную нестабильность в работе некоторых ламповых генераторов. Схема предложена Г. Вайнштейном.

Мы не будем здесь рассматривать всю принципиальную схему автомата. Рассмотрим только схему центральной клетки, а также сеть временного различия.

Принципиальная схема центральной клетки приведена на рис. 7. Как видно из рассмотрения схем рис. 2 и рис. 7 нейроны P и Q реализуются соответственно схемами совпадения D_1, D_2, R_1 и D_3, D_4, R_2 . Накопитель R и нейрон L реализованы на емкости C_1 , которая заряжается от делителя напряжения R_8, R_9 через сопротивление R_7 , когда открывается диодный ключ D_5 , и тиратроне L_1 . Петля обратной связи у нейрона L явно не входит в схему, однако сам тиратрон ведет себя аналогично нейрону с петлей обратной связи, так как будучи раз зажжен, он не гаснет до тех пор, пока не будет снято анодное напряжение. В анодной цепи тиратрона стоит реле PKI , контакты которого образуют нейроны M и F . Счетчик возбуждений S представляет собой обычный счетчик на триггерах, счетный вход которого подключен к схеме совпадения D_1, D_2, R_1 , а сброс к схеме совпадения D_3, D_4, R_2 . В анодах последнего триггера счетчика поставлено поляризованное реле PII_1 , контакт которого нахо-

* В создании автомата принимали участие Вайнштейн Г., Бородюк В., Лецкий Э., Глаголев И., Ратгауз Б. и другие.

FOR OFFICIAL USE ONLY

Handwritten text, likely a signature or date, is present in the upper right margin.

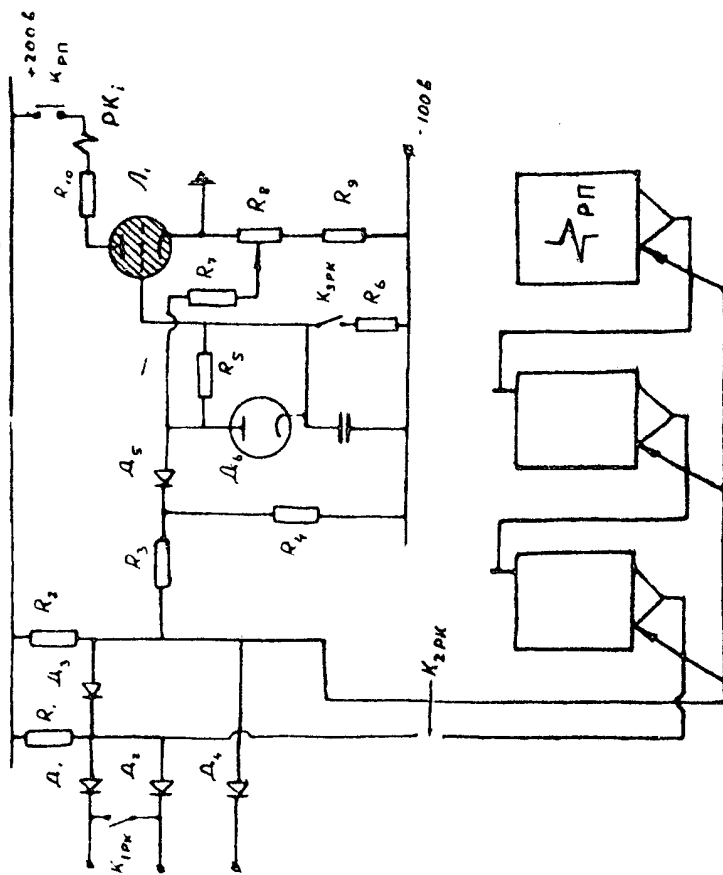


Рис. 7. Принципиальная схема центральной клетки.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

дится в анодной цепи тиратрона. Поляризованное реле настроено так, что, когда счетчик сброшен, контакт реле в цепи тиратрона замкнут.

Опишем кратко работу схемы.

Лампочка, имитирующая действие автомата, зажигается от блока случайных действий и горит около 5 секунд. В течение этого времени на вход 1 схемы совпадения подается высокое напряжение, равное приблизительно напряжению анодного питания. При нажатии кнопки раздражителя запускается одновибратор, который дает импульс длиной около 5—10 секунд. Этот импульс подается на вход 2. Если импульсы от действия и раздражителя совпадают во времени, то в точке 4 также появляется высокое напряжение. Если теперь подается импульс и на вход 3, то вторая схема совпадения $D_3 D_4 R_2$ (нейрон Q), также срабатывает, и высокое напряжение появляется в точке 5, открывая диодный ключ D_5 . Емкость C_1 начинает заряжаться. Постоянная времени заряда емкости определяется в основном величиной сопротивления R_7 и емкости C_1 . Напряжение, до которого она зарядится, зависит от продолжительности импульса. Емкость связана с сеткой тиратрона J_1 и поэтому, когда она зарядится до определенной величины, тиратрон загорится. Это произойдет, если совпадение всех трех напряжений на входах 1, 2, 3 повторится несколько раз. Число необходимых совпадений зависит от того, насколько часто они следуют друг за другом, а также от величины сопротивлений $R_7 R_8 R_9$ и качества емкости C_1 . Когда тиратрон загорится, это означает, что автомат «запомнил» связь между соответствующим раздражением и действием. Разучивание автомата происходит как было описано при рассмотрении схемы рис. 2. Счетчик на триггерах считает неподкрепленные возбуждения и когда их число превысит четыре (счетчик пересчитывает на 4) контакт поляризованного реле в цепи тиратрона размыкается и он гаснет. Таким образом контакт поляризованного реле играет роль тормозящей концевой пластины, соприкасающейся с телом нейрона L.

Из 12 таких схем построена матрица автомата 3×4 (3 действия, 4 раздражителя).

Перейдем теперь к рассмотрению схемы сети временного различия, которую можно назвать также блоком подкрепления (рис. 8).

Нейроны $M_1 \dots M_n$ (рис. 5) образованы реле $P_1, P_{II}, P_{III}, P_{IV}$ и контактами реле $PK_1 \dots PK_{12}$ в анодных цепях тиратронов центральных клеток. Контакты этих реле из каждого столбца образуют схему «или».

Контакты реле $P_1 \dots P_{IV}$, обозначенные $Ki_1 \dots Ki_{IV}$ образуют нейроны $Q_1 \dots Q_n$. Нейроны $P_1 \dots P_n$ и $L_1 \dots L_n$ образованы контактами реле $P_1 \dots P_{IV}, PK_1 \dots PK_{12}$ и реле $P_1 \dots P_{12}$ и его контактами. Здесь в схеме петля обрат-

FOR OFFICIAL USE ONLY

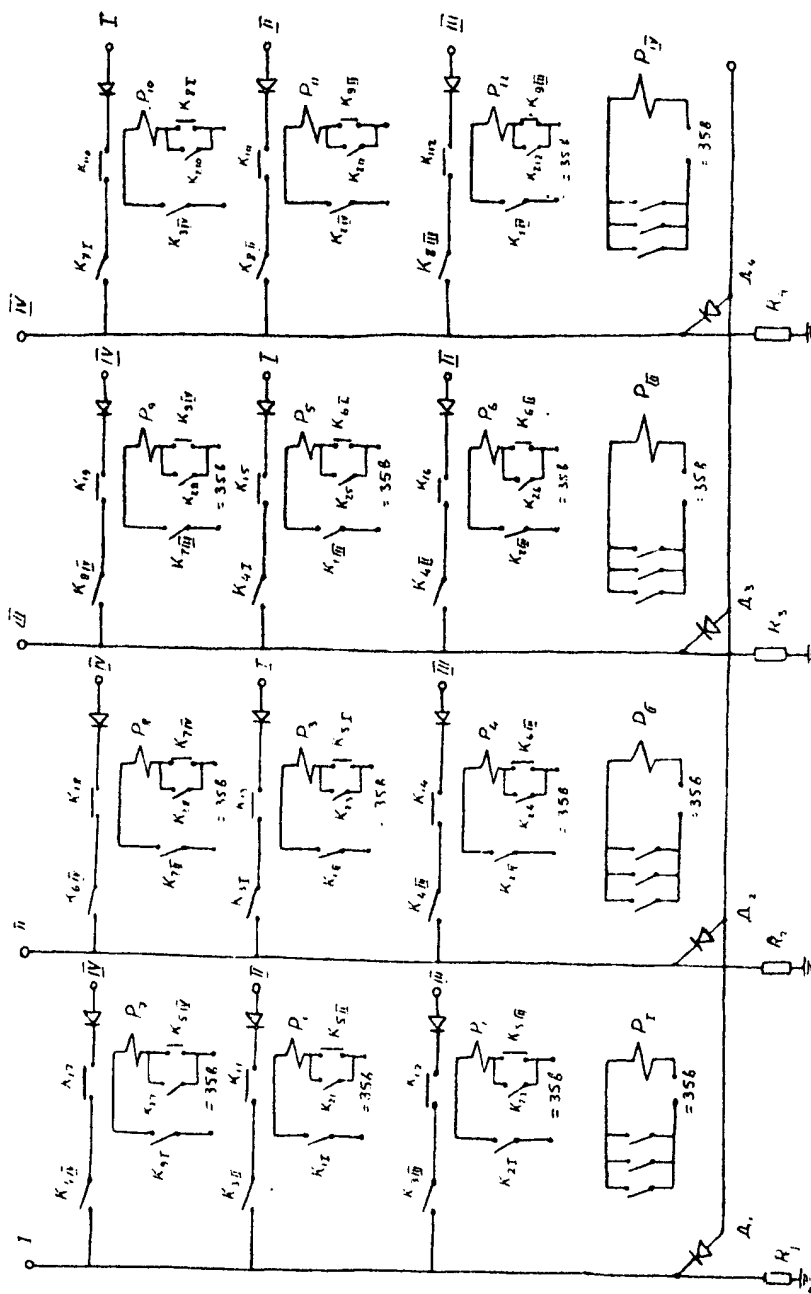


Рис. 8. Принципиальная схема сети временного разделения.

FOR OFFICIAL USE ONLY

CONFIDENTIAL USE ONLY

ной связи выступает в явном виде, она образована контактами реле $P_1 \dots P_{12}$, которые, срабатывая, самоблокируются. Контакты, которые на схеме показаны разомкнутыми, нормально разомкнуты, и наоборот.

Нейроны T_1 реализованы на диодах $D_1 \dots D_4$. Эта схема работает точно так же, как уже описанная схема в формальных нейронах (рис. 5).

В целом автомат представляет собой электронную машину, содержащую около 100 ламп (включая источники питания), полупроводниковые диоды и электромеханические реле.

Описанный автомат является действующим и экспонируется на Выставке достижений народного хозяйства СССР.

*г) Основные черты и возможное применение
«обучающегося автомата»*

Итак, мы рассмотрели схему «обучающегося автомата». Что нового вносит он в моделирование процесса обучения?

Прежде всего в этом автомате дана возможность моделировать условный рефлекс*. Автомат способен связать любое свое возможное действие с любым из воспринимаемых им раздражителей. Эта возможность не была реализована в ранее создававшихся моделях (черепаша Уолтера и другие). Такую возможность в автомате дает описанная нами «матрица из центральных клеток».

Второй момент. Автомат вырабатывает цепь рефлексов, которые развиваются во времени так, что за одним рефлексом следует другой. Насколько известно, еще не создавались системы, способные к подобной деятельности. Моделирование выработки цепи рефлексов приводит к решению задачи о различении последовательности появления раздражителей (и закрепления связи раздражителя с действием) во времени.

И, наконец, моделирование процесса обучения в автомате коренным образом отличается от моделирования на электронных цифровых машинах. Отличие заключается в том, что элементы памяти совмещены с логическими элементами, что, по-видимому, приближает его известным образом к особенностям строения мозга.

При создании описанного автомата преследовались цели моделирования физиологических процессов, однако он может найти и техническое применение. Существенное свойство автомата заключается в том, что он, «изучая среду», вырабатывает определенную программу действий, наилучшим способом ведущую к заданной цели в данных конкретных условиях среды. Следовательно, если подключить его к мало изученному технологическому процессу, то он сам выработает оптимальную

* См стр. 29.

FOR OFFICIAL USE ONLY

программу действий, причем роль «подкрепления» играет качество и количество получаемой продукции. Мало изученные процессы нередко встречаются в химическом производстве, например, в производстве синтетического каучука. В Московском Энергетическом институте, под руководством доцента Г. К. Круга, ведутся работы по применению подобной машины как автоматического диспетчера в производстве каучука.

Моделирование процесса обучения в автоматах раскрывает перспективы и к изучению других проблем.

В частности разработка вопросов обучения в автомате имеет значение для создания диагностических машин нового типа, работающих по принципу обучающегося автомата.

По мнению председателя Научного совета по кибернетике академика А. И. Берга и президента Академии медицинских наук СССР академика А. Н. Бакулева создание таких автоматов является перспективным.

Кроме этого возникает проблема возможности более или менее абстрактного освоения некоторого круга предметов, обладающих общими свойствами, проблема распознавания геометрического или звукового образа и т. д. Решение этих проблем создает предпосылки для понимания деятельности головного мозга в некоторых аспектах. Вместе с тем работа над этими вопросами позволит продвинуться вперед и технике, где возникает ряд подобных задач. Однако решить их можно гораздо быстрее, изучая головной мозг и моделируя его функции в автоматах.

FOR OFFICIAL USE ONLY

For Official Use Only

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и создание «обучающегося автомата» имели значение при изучении двух основных теоретических проблем, связанных с научным анализом работы головного мозга.

Первая проблема может быть охарактеризована, как изучение общих принципов работы самоорганизующихся систем управления. В данном случае речь идет об анализе сложного явления, которое в общей форме характеризуется тем, что система управления (головной мозг) при помощи определенных серий воздействий, активно «исследует» внешнюю среду «с целью» получения необходимой информации. В результате этого процесса выявляется достоверная и полезная информация, на базе которой формируются новые программы работы (новые формы целесообразного поведения). Характеризуя этот процесс в общей форме, мы сознательно избегаем употребления термина «обучение», так как в этот термин в настоящее время вкладывается часто весьма различный смысл.

Создание модели «обучающегося автомата» подтвердило ряд выдвинутых ранее на основе физиологических экспериментов гипотез о принципах и механизмах работы головного мозга и выявило ошибочность некоторых предположений. Вместе с тем создание автомата выдвинуло целый ряд новых проблем и вопросов, которые указывают на необходимость дальнейших физиологических исследований и определяют направление этих экспериментов.

Большой интерес представляет в частности вопрос об условиях, в которых тот или иной используемый системой управления алгоритм может привести к формированию новых программ работы, и об условиях, в которых его использование окажется не эффективным.

Анализ этой проблемы указывает на необходимость выявления новых алгоритмов, которые могут оказаться оптимальными в тех или иных условиях.

Вторая проблема связана с анализом механизмов работы головного мозга, то-есть анализом структуры нервной сети головного мозга и изучением процессов протекающих в этой структуре. Эта проблема становится особенно актуаль-

FOR OFFICIAL USE ONLY

ной в связи с проведением исследований систем условных рефлексов, указывающих на существование сложных механизмов работы головного мозга. В этой связи встает проблема изучения физиологических механизмов, обеспечивающих последовательное формирование сложных систем рефлексов на основе переработки внешней формации. Эта проблема не может быть сведена к вопросу о механизме образования одиночной рефлекторной дуги.

Мы уже говорили об основных принципах изучения механизмов работы головного мозга (гл. 1, пар. 4 настоящей книги). Разработка теории нервной сети применительно к проблеме формирования цепей условных рефлексов и реализация этой теории путем построения автомата еще не может решить вопроса о структуре нервной сети, функционирующей в головном мозгу. Однако создание автомата имело важное значение в изучении этой проблемы. При создании автомата были разработаны некоторые общие принципы организации и работы нервных сетей этого типа.

Наряду с этим оказалось возможным создание рабочих гипотез о физиологических механизмах, лежащих в основе формирования цепей рефлексов, которые будут служить основой для проведения новых физиологических экспериментов. Дальнейшая работа в этом направлении позволит глубже подойти к изучению работы головного мозга.

В настоящей книге мы смогли рассмотреть только некоторые из вопросов, которые составляют предмет изучения нейрокибернетики. Например, возникает важная проблема, которая может быть охарактеризована, как изучение способности головного мозга к анализу сложных внешних событий (комплексов раздражителей). Эта проблема тесно связана с вопросом о классификации сложных комплексных сигналов. Количество различных сложных раздражителей, действующих на нервную систему, очень велико. В связи с этим в процессе деятельности головного мозга осуществляются, повидимому, сложные процессы вычленения общих компонентов в различных комплексах, причем формируется своеобразная система классификации комплексных раздражителей. Каждое новое явление воспринимается на основе выявления в нем уже известных животному групп сигналов. Эти явления, которые очень тесно соприкасаются с проблемой образования понятий, играют большую роль при ориентировке в новых ситуациях. Возникает также и ряд других проблем.

Нейрокибернетика обеспечивает новый подход к изучению работы головного мозга. Говоря о значении кибернетики Э. Я. Кольман пишет (34): «Разгадать... работу нашего мозга и самое мышление, получить все больше возможностей устранять появляющиеся нарушения и перебои в процессах жизни —

FOR OFFICIAL USE ONLY

разве это не великая цель, осуществление которой приближает кибернетику во взаимодействии с биофизикой, биохимией, физикой и психологией».

Можно высказать уверенность, что этот путь исследования может привести к новым успехам в области физиологии и медицины и оказать большую помощь при решении проблемы комплексной автоматизации производственных процессов.

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева И. А. Условные рефлексы на многокомпонентный цепной раздражитель в условиях свободной двигательной деятельности собаки. Журнал высшей нервной деятельности, том VI, вып. 4, 1956 г., стр. 569.
2. Анохин П. К. Особенности афферентного аппарата условного рефлекса и его значение для психологии. Вопросы психологии № 6, 1955 г., стр. 16.
3. Анохин П. К. Физиология и кибернетика. Вопросы философии, 1957 г., № 4, стр. 143.
4. Анохин П. К. Предисловие к книге П. Косса «Кибернетика», 1958 г. Издательство иностранной литературы. Москва, стр. 5.
5. Анохин П. К. Внутренние торможения, как проблема физиологии. Медгиз, 1958 г.
6. Анисимов С. Ф. Человек и машина. М. 1959 г. Общество по распространению научных и политических знаний.
7. Аттли О. М. Машина условной вероятности и условные рефлексы. Сборник Автоматы под ред. К. Е. Шеннона и Дж. Маккарти. Издательство иностранной литературы. М. 1958, стр. 326.
8. Аттли О. М. Временные и пространственные изображения в машине условной вероятности. Сборник Автоматы. Издательство иностранной литературы. 1956 г., г. Москва, стр. 352.
9. Айиволла Т. Е. Электронные вычислительные машины. Издательство Советское радио, М., 1959 г.
10. Берг А. И. Введение в книгу Дж. Томпсона. Предвидимое будущее, стр. 5. Издательство иностранной литературы, 1958 г.
11. Берг А. И. и Шамур В. И. А. С. Попов и современная радиоэлектроника. Госэнергоиздат, 1959 г. М.—Л.
12. Брайнес С. Н., Напалков А. В. Направленная иррадиация возбуждения по системе ранее выработанных условно-рефлекторных связей у собак. Восемнадцатое совещание по проблемам высшей нервной деятельности. Тезисы и рефераты докладов, выпуск II, декабрь 1958 г. Ленинград, стр. 65.
13. Брайнес С. Н., Напалков А. В., Шрейдер Ю. А. Анализ принципов работы некоторых самоорганизующихся систем управления в

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

- технике и биологии. Международная конференция по переработке информации. Париж. 1959 г.
14. Брайнес С. Н., Напалков А. В. Учение И. П. Павлова о системности в работе коры больших полушарий и некоторые вопросы психиатрии. Сборник. Издание Института психиатрии, Москва, 1959 г.
 15. Брайнес С. Н., Напалков А. В. Кибернетика и некоторые вопросы психиатрии. Сборник. Издание Института психиатрии, Москва, 1959 г.
 16. Брайнес С. Н., Напалков А. В. Некоторые вопросы теории самоорганизующихся систем. Вопросы философии № 6, 1959 г., стр. 148
 17. Брайнес С. Н., Напалков А. В. Мозг и кибернетика. Наука и жизнь № 6, 1959 г., стр. 17.
 18. «Зарубежная радиоэлектроника», 1959 г., № 1
 19. Воронин Л. Г. Анализ и синтез сложных раздражителей у высших животных. 1952 г. Медгиз. Ленинград.
 20. Воронин Л. Г. Некоторые итоги сравнительно-физиологического исследования высшей нервной деятельности. Известия АН СССР, серия биологическая, 1954 г., № 5, стр. 122.
 21. Воронин Л. Г. Сравнительная физиология высшей нервной деятельности, 1957 г. Издательство МГУ. Москва.
 22. Д. Виллис. Пластические нейроны в качестве элементов запоминающего устройства. Международная конференция по переработке информации. Париж. 1959 г.
 23. Винер Н. Кибернетика. Москва. Издательство Советское радио, 1958 г.
 24. Винер Н. Кибернетика и общество, 1958 г. Издательство иностранной литературы. Москва, 1958 г.
 25. Гальперин И. И. О рефлекторной природе управляющих машин. Вопросы философии, № 4, 1957 г., стр. 158.
 26. Гуляев П. И. Кибернетика и физиология. Ленинград, 1958 г.
 27. Дембовский Я. К. Психология животных. Издательство иностранной литературы, 1959 г.
 28. Давыдовский И. В. Вопросы локализации и органопатологии в свете учения Сеченова, Павлова, Введенского. Москва, Медгиз, 1954 г.
 29. Калбертсон Дж. Т. Некоторые неэкономичные работы. Сборник «Автоматы» под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. Издательство иностранной литературы, Москва, 1956 г., стр. 140.
 30. Клини С. К. Представление событий в нервных сетях и конечных автоматах. Сборник «Автоматы» под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. Издательство иностранной литературы. Москва, 1956 г., стр. 15.
 31. Клини С. К. Введение в метаматематику. Издательство иностранной литературы. Москва, 1957 г.
 32. Кольман Э. Что такое кибернетика. Вопросы философии, 1955 г., № 4, стр. 148.

FOR OFFICIAL USE ONLY

33. Кольман Э. О философских и социальных идеях Норберта Винера. Предисловие к книге Н. Винера, Кибернетика и общество. Издательство иностранной литературы. М. 1958 г.

34. Кольман Э. Ленин и новейшая физика, 1959 г. Москва, Госполитиздат.

35. Косса П. Кибернетика. Издательство иностранной литературы. Москва, 1958 г.

36. T. Kilburn, R. L. Grimsdale and F. H. Sumner. Experiments in machine learning and thinking. ICIP, 1959.

37. Купалов П. С. Физиологическая организация процессов возбуждения и торможения в коре мозговых полушарий при условнорефлекторной деятельности. Журнал высшей нервной деятельности, т. 5, вып. 4, стр. 463, 1955 г.

38. Ланг Г. Ф. Гипертоническая болезнь, стр. 301. Ленинград, Медгиз, 1950.

39. Леонтьев А. Н. Обучение, как проблема психологии. Вопросы психологии, 1957 г. № 1, стр. 3.

40. Ляпунов А. А. О некоторых общих вопросах кибернетики. Сборник Проблемы кибернетики. Издательство физико-методической литературы, выпуск № 1, 1958 г., М., стр. 46.

41. Мак-Каллок У. С., Питтс В. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности. Сборник «Автоматы» под ред. К. Э. Шеннона и Маккарти. Издательство иностранной литературы. Москва, 1956 г., стр. 362.

42. Маккей Д. М. Проблема образования понятий автоматизации. Сборник «Автоматы». Издательство иностранной литературы. М. 1956 г., стр. 306.

43. Маккарти Джон и Шеннон Клод. Предисловие к сборнику. «Автоматы». Издательство иностранной литературы. М., 1956 г., стр. 7.

44. Медведев Ю. Т. О классе событий, допускающих представление о конечном автомате. Автоматы. Сборник. Издательство иностранной литературы. 1956 г., М., стр. 385.

45. Минский М. Д. Некоторые универсальные элементы для конечных автоматов. Сборник Автоматы. Издательство иностранной литературы. М. 1956 г., стр. 163.

46. Мур Э. Ф. Умозрительные эксперименты с последовательными машинами. Сборник Автоматы. Издательство иностранной литературы. М. 1956 г.

47. Напалков А. В. Изучение закономерностей развития экспериментального невроза и связанного с ним повышения уровня кровяного давления. Автореферат кандидатской диссертации. Москва МГУ, 1952 г.

48. Напалков А. В. Экспериментальное изучение причин, вызывающих длительное повышение уровня кровяного давления у собак. Вестник Московского университета, № 12, 1953 г., стр. 45.

FOR OFFICIAL USE ONLY

49. Напалков А. В. Изучение закономерностей выработки сложных систем условных рефлексов. Вестник Московского университета № 2, 1958 г., стр. 75.
50. Нейман М. С. Автоматические процессы и явления. Издательство Советское радио. М., 1958 г.
51. Нейман Дж. Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонентов. Сборник «Автоматы» под редакцией К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти. Издательство иностранной литературы, 1956 г., г. Москва, стр. 68.
52. Полетаев И. А. «Сигнал». 1958 г. Издательство Советское радио.
53. Поляков Г. И. О соотношениях основных типов нейронов в коре мозга человека. Журнал высшей нервной деятельности, том VI, вып. 3, 1956 г.
54. Павлов И. П. Полное собрание сочинений. Медгиз, 1956 г.
55. Рокотова Н. А. Цепные двигательные условные рефлексы у собак. Журнал высшей нервной деятельности, т. IV, вып. 6, 1954 г.
56. Сеченов И. М. Избранные философские и психологические произведения. 1947 г. ОГИЗ.
57. Соболев С. Л., Китов А. И., Ляпунов А. А. Основные черты кибернетики. Вопросы философии, 1955 г. № 4 стр. 136.
58. Трахтенброт. Алгоритмы и машинное решение задач. Издательство технико-теоретической литературы. М. 1957 г.
59. Эшби У. Росс. Применение кибернетики в биологии и социологии. Вопросы философии, 1958 г., № 12, стр. 110.
60. Эшби У. Росс. Введение в кибернетику. 1959 г. Издательство иностранной литературы, Москва.
61. Эшби У. Росс. «Схема усилителя умственных способностей». «Автоматы». Сборник. Издательство иностранной литературы, 1956 г. М.
62. Ухтомский А. А. Принцип доминанты. Физиология нервной системы, том III, Медгиз, Москва, 1952 г., стр. 262.

FOR OFFICIAL USE ONLY

SECRET

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Глава I. Кибернетика и физиология	
а) Предмет исследования	5
б) Методы исследования	10
в) Роль и место кибернетики в системе физиологических исследований	12
г) Нейрокибернетика и изучение головного мозга	17
д) Нейрокибернетика и патофизиология	25
Глава II. Теория автоматов (краткий обзор работ)	
а) «Теория нервной сети»	30
б) Синтез автоматов	32
Глава III. Системы управления, работающие по жесткой программе	
а) Рефлекторный принцип в работе систем управления	39
Глава IV. Системы, способные самостоятельно разрабатывать новые программы своей работы	
а) Взаимодействие двух систем (головной мозг и внешняя среда)	45
б) Методические приемы изучения алгоритмов переработки информации в головном мозгу	51
в) Закономерности переработки информации, лежащие в основе формирования простой цепи рефлексов	54
г) Более сложные формы переработки информации	61
Глава V. Изучение закономерностей формирования новых форм поведения на основе переработки ранее накопленной информации	
а) Методика исследования	70
б) Закономерности переработки ранее накопленной и вновь поступающей информации	73
в) Изучение более сложных форм переработки информации	82
Глава VI. Моделирование процесса обучения	
а) Постановка задачи. Формальный нейрон Мак-Каллока и Питтса	85
б) Моделирование простого условного рефлекса	86
в) Проблема различения временных изображений	90
г) Формальная схема автомата	92
д) Некоторые электрические схемы автомата	96
е) Основные черты и возможное применение «обучающегося автомата»	100
Заключение	102
Список литературы	105

FOR OFFICIAL USE ONLY

FOR OFFICIAL USE ONLY

Л 39404 от 23/XI 1959 г.
Цена 8 руб. 50 коп.

Объем 7 п. л.
Тираж 750 экз.

Формат 60х92/16
Заказ 7326

Центральная типография МО

FOR OFFICIAL USE ONLY